

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Інженерно-хімічний факультет

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра технічних та програмних засобів автоматизації
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Віталій ЦАПАР
« ____ » _____ 20 ____

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою «Технічні та програмні засоби
автоматизації»
зі спеціальності 174 – Автоматизація , комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка
(код і назва)

на тему: Автоматизація процесів озонування води

Виконав: студент 2 курсу, групи ЛК-42мп
(шифр групи)

<u>Штогрин Олександр Петрович</u> (прізвище, ім'я, по-батькові)	_____ (підпис)
Керівник <u>зав.кефедри, к.т.н., доц. Цапар Віталій.Степанович.</u> (посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по батькові)	_____ (підпис)
Консультант <u>Розробка стартап проекту ,к.т.н.доц.кафедри промислового маркетингу Юдіна Наталія.Володимерівно.</u> (назва розділу) (посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по батькові)	_____ (підпис)
Рецензент <u>зав.кефедри, к.т.н., доц. Цапар Віталій.Степанович.</u> (посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по батькові)	_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2025 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Інженерно-хімічний факультет
(повна назва)

Кафедра технічних та програмних засобів автоматизації
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

Освітньо-професійна програма «Технічні та програмні засоби автоматизації»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Віталій ЦАПАР

« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Штогрин Олександр Петрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації

Автоматизація процесів озонування води

науковий керівник дисертації зав.кафедри, к.т.н., доц. Цапар Віталій Степанович.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації

3. Об'єкт дослідження

4. Вихідні
дані

5. Перелік завдань, які потрібно розробити

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного)матеріалу

7. Орієнтовний перелік публікацій

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка

Студент

Олександр ШТОГРИН

Науковий керівник дисертації

Віталій ЦАПАР

Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. Аналіз об'єкта автоматизації	8
1.1 Опис технологічної схеми процесу озонування питної води.....	8
1.2 Опис функціональної схеми автоматизації процесу озонування.....	12
1.3 Опис принципової схеми автоматизації процесу озонування води.....	17
1.4 Опис схеми автоматизації процесу озонування води.....	19
РОЗДІЛ 2. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОЗОНУВАННЯ	26
2.1 Створення моделі процесу озонування	26
РОЗДІЛ 3. ОПТИМАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ	30
3.1 Розрахунок оптимального управління процесом	30
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ІЗ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ	36
4.1 Розробка оптимального лінійно-квадратичного регулятора	36
4.2 Розробка оптимального лінійно-квадратичного регулятора з інтегральною складовою	41
4.3 Аналіз та порівняння результатів оптимального управління із зворотним зв'язком	45
4.4 Управління за мін час з урахуванням обмежень на керування	47
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	51
5.1 Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології).....	51
5.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	53
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	54
5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	63
5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	67
5.6 Висновки до розділу.	70
ВИСНОВОК	71
СПИСОК ВИКОРИСУНОКТАНИХ ДЖЕРЕЛ	73

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Штогрин.О.			Автоматизація процесу озонування води			Літ.	Арк.	Акрушів	
Перевір.		Цапар В.С.								4	78
Реценз.								НТУУ «КПІ», ІХФ, ЛК-			
Н. Контр.											
Затверд.		Жученко А.І.									

ВСТУП

Актуальність теми Головними забруднювачами гідросфери являються стічні води промислових та комунальних підприємств, викиди водного, залізничного та автомобільного транспорту, що приводить до різкого зниження екологічного стану довкілля. Забруднення природних вод побутовими стоками особливо небезпечне для здоров'я людини. Така вода стає зовсім непридатною для постачання населенню, оскільки містить збудників різних інфекційних захворювань.

Усі природні водойми мають здатність до самоочищення. Самоочищення води включає нейтралізацію, випадіння в осад твердих забруднювачів, а також хімічні, біологічні та інші природні процеси, що допомагають видалити забруднювачі з водойми і повернути воду до її первісного стану. Проте здатність водойм до самоочищення обмежена. Сьогодні у водойми надходить така велика кількість стічних вод, забруднених різними токсичними речовинами, що ця здатність перевищується., що багатьом водоймам потрібен значний період для самоочищення, який може тривати від декількох діб до тисяч років.

Дослідники Національної геофізичної обсерваторії України називають Буг Сіверський Донець, Західний , Дністер та притоки й водосховища Дніпра найбільш забрудненими річками країни. Щорічно підприємства скидають понад 10 куб км в Дніпро. стічних вод, з яких 0,15 куб. км - без будь-якої очистки, що робить ці води небезпечними. Вода Дніпра забруднена отруйними хімічними речовинами, включаючи сполуки важких і радіоактивних металів, особливо після Чорнобильської катастрофи. Через цю катастрофу вода забруднена радіонуклідами, зокрема стронцієм-90, плутонієм-239, тацезієм-137, була забруднена частина басейну Дніпра та всі водосховища каскаду. Через наявність великих водоймищ швидкість течії річки зменшилася, що призвело до майже постійного "цвітіння" води внаслідок розмноження синьо-зелених водоростей, які виділяють токсичні речовини. Аналіз багаторічних спостережень показав, що при задовільній природній мінералізації води в

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

межах 300–350 мг/дм³, найпоширенішими забруднюючими речовинами річок басейну Дніпра є нітрити, азот амонійний, біогенні та органічні речовини, важкі метали, нафтопродукти та феноли.

На сьогоднішній день існує кілька методів очищення води, але очищення озоном визнано найефективнішим.

Озон це високоефективна та універсальна речовина, яка викориснуноктовується для обробки води з метою дезінфекції, видалення марганцю та заліза, поліпшення смаку, усунення кольору і запаху, а також для видалення органічних сполук, небезпечних для навколишнього середовища. Вплив озону базується переважно на процесах окислення. Озонування дозволяє видалити більшість домішок, що не властиві воді, покращуючи смак і усуваючи запахи. При цьому не утворюються шкідливі побічні продукти, як, наприклад, при хлоруванні. Озон має значні переваги з гігієнічної точки зору завдяки своїй здатності швидко розкладатися у воді (10-15 хвилин) з утворенням кисню і не вступати в реакції заміщення. Це робить озон повністю екологічно безпечним. Необхідність автоматизації процесу озонування води полягає в тому, що озон є нестабільною речовиною, його неможливо транспортувати на великі відстані, саме тому цей реагент здобувають на місці за допомогою «тихого» електричного розряду в озонаторах і одразу викориснуноктовують для очищення води. Цей процес практично неможливо виконати без автоматизації об'єкта.

Мета і завдання дослідження – Одним з головних завдання є автоматизація процесу, щоб таким чином спростити роботу оператора та мінімізувати людський фактор, так було обрано напрямок моделювання процесу озонування води з подальшим його розвитком та керуванням

Об'єкт дослідження – процес озонувування води.

Предмет дослідження - Автоматизація процесу знезараження води озоном .

Методи дослідження – На початку було базове дослідження теми, схем автоматизації та початкових методичних даних на основі них було розроблено

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

бакалаврський диплом, якій включає в собі автоматизацію апаратну та механічну, впливаючи з цього в даному проєкті було викориснувано методи дослідження такі як математичне моделювання та його програмне відображення з якого і з'явилося керування з відображенням

Основні результати та їх практична цінність – основними результатами є створення математичної моделі з програмним відображенням через matlab, також оптимальне керування з відображенням в matlab, управління за мін час з урахуванням обмежень на керування та розробка стартап проєкту.

Практична цінність: готова модель яку можна розвивати та вдосконалювати, побудоване оптимальне управління процесом з додатковими управлінськими розрахунками які можна застосовувати в роботі та стартап проєкт при втіленні якого буде мінімальна затрата ресурсів та економічна вигода

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. Аналіз об'єкта автоматизації

1.1. Аналіз технологічної схеми процесу озонування питної води

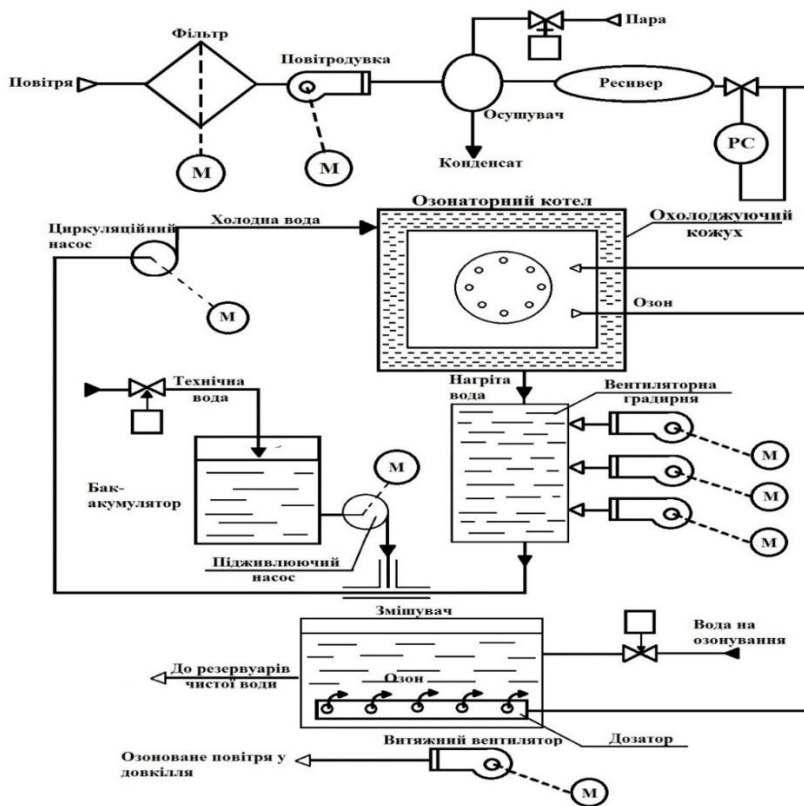


Рисунок 1.1 Технологічна схема процесу озонування питної води

Для початку процесу озонування питної води повітря проходить перший рівень очистки повітряним фільтром, який складається з обертової сітки, що натягнута на два барабани з потужним електроприводом, та призначений для очищення від пилу, вологи та комах, після чого повітря проходить другий рівень очищення, проходячи через касетний вугільний фільтр, який складається з металевої рамки з оцинкованого заліза, що наповнена вугільним матеріалом на опірній сітці, в якому повітря очищається від забруднення різними газами. Повітродувка подає очищене повітря до осушувача, в якому відбувається процес видалення вологи з повітря, за допомогою пари, яка полишає осушувач у вигляді конденсату. Очищене сухе повітря надходить в ресивер для накопичення та зберігання (рисунок. 1.1).

Для перетворення кисню в озон, клапан ресиверу відкривається та подає підготовлене повітря в озонатор. Озонатор – циліндричний апарат в який вмонтовані трубки з нержавіючої сталі. Він поділений на три секції вертикальними опорними решітками. В найдовшій, середній секції розміщені трубчасті електроди, поміж яких циркулює охолоджуюча вода. Через одну з двох крайніх секцій поступає сухе повітря, а через іншу – виходить озонований газ. В середині кожної трубки знаходиться скляна трубка діаметром 2-3 мм, що виконує роль розрядного простору. Завдяки центрувальним кільцям кожна скляна трубка встановлюється точно по вісі сталевій. В озонаторі розміщені 204 розрядні трубки. Внутрішня поверхня скляних трубок має графітно-мідне або алюмінієве покриття, яке служить електродом. Іншим електродом є сталеві трубки, до яких подається змінний електричний струм напругою 8-10 кВ, тоді як покриття на скляних трубках заземлено. Під дією електричного струму високої напруги виникає коронний розряд, який спричиняє утворення озону. Завдяки скляним трубкам утворюється «тихий» розряд (без утворення іскор). При цьому до 30% підведеної електроенергії перетворюється на тепло, яке відводиться з озонатора водою, що циркулює в міжтрубному просторі. (рисунок. 1.2).

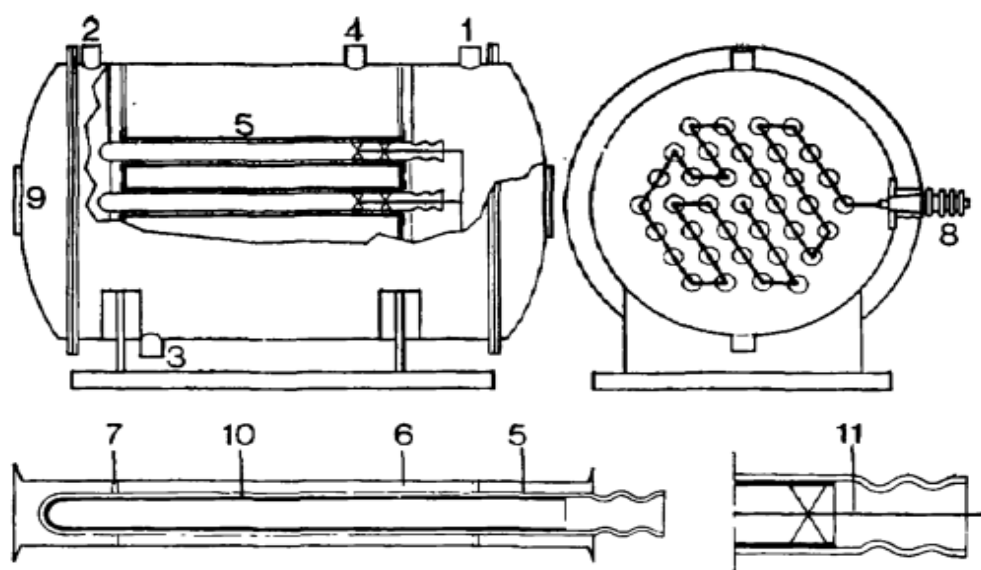


Рисунок 1.2 *Схема горизонтального трубчатого озонатора*

1 - вхід для повітря; 2 – вихід для озонованого повітря; 3 – вхід для охолоджуючої води; 4 - вихід для охолоджуючої води; 5 – діелектрична трубка; 6 – зона «тихого» розряду; 7 – трубка – тримач; 8 – ввід високої напруги; 9 – бічний люк; 10 – металевий електрод; 11 – контактна щітка.

Вода, що була нагріта під час процесу перетворення повітря в озон, з охолоджуючого кожуху озонатора надходить у вентиляторну градирню, де в залежності від температури води запускається один або декілька охолоджуючих вентиляторів, які знижують її температуру до необхідних 20°C. Як правило температура води підвищується не більше ніж на 6-8 °C. Охолоджена вода подається назад в охолоджуючий кожух за допомогою циркуляційного насоса. Витрата води складає 3-5 м³ на 1 кг озону, тому після декількох циклів нагрівання та охолодження кількість води в охолоджуючому кожусі зменшується. Для запобігання осушення системи охолодження озонаторного котла, технічна вода, що подається в бак-акумулятор за допомогою підживлюючого насоса підтримує потрібний рівень води в системі охолодження озонатора.

Для очищення води озоном, озоноповітряна суміш надходить у дозатор, який встановлений на дні барботажної контактної камери з паралельною течією води (рисунок. 1.3). Висота барботажних камер становить 5 метрів, тривалість перебування води в камері – 5-7 хвилин. Озон подається у порисуюнку трубу (дозатор), та виходить з неї у вигляді найдрібніших бульбашок, назустріч якому подається вода на озонування. Озонована вода надходить до резервуарів з чистою водою. Частина озону, яка не прореагувала з водою, відводиться через витяжну трубу, за допомогою витяжного вентилятора у довкілля. Гранична допустима концентрація озону у повітрі в робочих зонах складає 0,1 мг/м³. Дія озону на організм може призводити до передчасної смерті. Найбільш небезпечний вплив високих концентрацій озону в повітрі:

-на органи дихання прямим подразненням;

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

-на холестерин у крові людини з утворенням нерозчинних форм, що приводять до атеросклерозу

Озоноповітряну суміш вводять у воду перед очисними спорудами (попереднє озонування), після очисних споруд (післяозонування) та до і після очисних споруд (подвійне озонування). Попереднє озонування доцільно проводити, якщо запахи і присунокмаки води, які виникають під час дезодорації, не видаляються або посилюються в процесі подальшої обробки. Післяозонування рекомендується проводити, коли присунокмак і запахи частково видаляються під час попередньої обробки та у процесі знезараження води озоном. Подвійне озонування доцільно здійснювати, якщо на очисних спорудах вода освітлюється або хлор разом з коагулянтном застосовують для уникнення бактеріального забруднення очисних споруд.

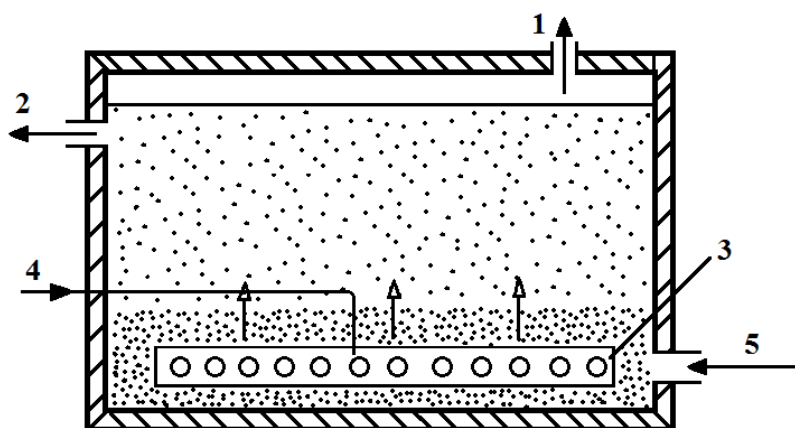


Рисунок 1.3 Контактна камера з паралельною течією води та озоноповітряної суміші.

1 – вихід відпрацьованого повітря; 2 – вихід обробленої озоном води; 3 – порисункті труби (дозатори); 4 – подавання озоноповітряної суміші; 5 – подавання води на озонування.

1.2 Опис функціональної схеми автоматизації процесу озонування води

- Автоматизоване управління приводом обертової сітки повітряного фільтра.
- Дистанційне керування приводом повітродувки.
- Автоматичне регулювання температурного режиму в осушувачі з регулюванням клапана паропроводу.
- Автоматизоване керування приводом циркуляційного насоса.
- Автоматичне регулювання роботи вентиляторів охолоджувальної градирні залежно від температури води після озонаторного котла.
- Автоматизоване керування підживлюючим насосом.
- Автоматичне регулювання рівня води в баку-акумуляторі позиційного регулювання з керуванням вхідного соленоїдного вентиля.
- Автоматизоване керування приводом витяжного вентилятора залежно від концентрації озону в повітрі приміщення.
- Автоматичне дистанційне вимірювання тиску повітря в ресивері та на вході змішувача.
- Автоматичне дистанційне вимірювання температури нагрітої та охолодженої води в системі зворотного водопостачання.
- Автоматичне вимірювання концентрації залишкового озону у знезараженій воді.
- Автоматичне дистанційне вимірювання тиску води в системі зворотного водопостачання.
- Автоматичне регулювання рівня води в резервуарі дозатора озону.

Автоматичне керування приводом обертової сітки повітряного фільтру

Коли сітка фільтру забруднилася, це створює значний перепад тиску на вході та виході фільтру, на це реагують датчики електроконтактного сигналізатору тиску типу РПД-Д поз. 1.1, та якщо універсальний перемикач режиму роботи поз. 1.3 знаходиться в положенні автоматичного режиму роботи, то подається сигнал на магнітний пускач поз. 1.4, який приводить в дію привід фільтру,

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

змушуючи сітку обертатися в резервуарі з мастилом, та очищуючи її від забруднення.

Дистанційне керування приводом повітродувки

При потребі подачі повітря оператор натискаючи на кнопку станції ручного керування поз. 2.1, подає живлення на магнітний пускач поз. 2.2, який вмикає привід повітродувки.

Автоматичне регулювання температури в осушувачі з регулюючою дією на клапан паропроводу

При зниженні температури в осушувачі термометр опору мідний типу ТСМ-50М поз. 3.1 подає сигнал на мікроелектронний регулятор температури типу Autonics T3S1 поз. 3.2, блок керування поз. 3.3 оброблює вхідні дані та задає режим керування згідно з певною часовою програмою, згідно з якою подається сигнал магнітному пускачу поз. 3.4 тому, який своєю регулюючою дією на клапан паропроводу поз. 3.5 змінює температуру в осушувачі.

Автоматичне керування приводом циркуляційного насоса

При зниженні тиску після циркуляційного насосу, це зафіксує датчик електроконтактного манометра, типу МТ-4С поз. 4.1, та якщо універсальний перемикач режиму роботи поз. 4.3 знаходиться в положенні автоматичного керування, подасть сигнал на неререверсивний магнітний пускач поз. 4.4, який ввімкне привід циркуляційного насосу.

Автоматичне керування приводами вентиляторів охолоджуючої градирні в залежності від температури води після озонаторного котла

Температура води, що надходить до вентиляторної градирні може коливатися, її фіксує термобалон поз. 5.1 і подає дані про температуру води у вигляді сигналу на манометричний сигналізатор температури ТС-100 поз. 5.2, який в залежності від отриманих даних про температуру гарячої води подає сигнал на магнітні пускачі поз. 5.9, 5.10, 5.11, які вмикають від однієї до трьох повітродувок, для зниження температури до необхідних 15°C. Кількість

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ввімкнених повітродувок залежить від температури гарячої води, при максимальному її значенні потрібно ввімкнути всі три повітродувки. Якщо температура має мінімальне значення, буде достатньо всього однієї, коли значення середнє вмикаються 2 повітродувки.

Автоматичне керування підживлюючим насосом

З часом в системі оборотного водопостачання рівень води зменшується, а отже і значення тиску зменшується, це фіксує своїми датчиками електроконтактний манометр типу МТ-4С поз. 6.1, та якщо універсальний перемикач режиму роботи поз. 6.3 знаходиться в положенні автоматичного керування, подає сигнал на нереверсивний магнітний пускач поз. 6.4, який вмикає привод підживлюючого насосу, що підживлює систему оборотного водопостачання технічною водою з баку-акумулятора.

Автоматичне регулювання рівня води у баку-акумуляторі позиційної дії з регулюючою дією на вхідний соленоїдний клапан

Якщо в баку-акумуляторі знизився рівень води, це зафіксує датчик нижнього рівня первинного перетворювача ПП-005 поз. 7.1, та подасть сигнал на електронний сигналізатор рівня типу РИСУНОК-101м1 поз. 7.2 який, знаходячись в положенні автоматичного керування універсального перемикача режиму роботи поз. 7.4, подасть сигнал на реверсивний магнітний пускач поз. 7.5, що своєю дією змусить електромагнітний клапан типу ЕВ-2 поз. 7.6 відкритися, внаслідок чого технічна вода почне заповнювати бак-акумулятор. Коли резервуар заповниться водою, це фіксує датчик верхнього рівня перетворювача ПП-005, та подасть сигнал електронному сигналізатору рівня типу РИСУНОК-101м1, який вимкне електромагнітний клапан ЕВ-2, та зупинить подачу води до резервуару баку-акумулятору.

Автоматичне керування приводом витяжного вентилятора в залежності від концентрації озону в повітрі приміщення

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При забрудненні приміщення озоном, це фіксує датчик концентрації озону поз. 8.1, який через перетворювач-підсилювач тиску поз. 8.2, перетворює, підсилює сигнал та надсилає його на газоаналізатор концентрації озону типу 652 ХЛ 20 поз. 8.3, що подасть команду на нереверсивний магнітний пускач поз. 8.6, який призведе до включення приводу витяжного вентилятора. Коли приміщення очиститься це зафіксує датчик концентрації озону та подасть сигнал на газоаналізатор концентрації озону, що дасть команду нереверсивному магнітному пускачу вимкнути привод витяжного вентилятора.

Автоматичне дистанційне вимірювання тиску повітря в ресивері і тиску на вході змішувача

У ресивері встановлений перетворювач тиску безшкальний типу МЭД 22364 поз. 9.1, який вимірює значення тиску, та передає вимірюване значення на автоматичний міліамперметр типу КСУ-2-004 поз. 9.2, встановлений на щиті, який показує та реєструє отримані дані. На вході змішувача встановлений перетворювач тиску безшкальний типу МЭД 22364 поз. 9.3, який вимірює значення тиску, та передає вимірюване значення на автоматичний міліамперметр типу КСУ-2-004 поз. 9.4, встановлений на щиті, реєструючи та показуючи отримані дані.

Автоматичне дистанційне вимірювання температури нагрітої і охолодженої води в системі зворотного водопостачання

На потоці гарячої води в системі зворотного водопостачання встановлений термометр опору мідний типу ТСМ-50М поз. 10.1, що фіксує значення температури, надсилаючи виміряне значення у вигляді сигналу на автоматичний показуючий міст типу КСМ-2 поз. 10.2, який реєструє та показує значення температури. На потоці холодної води в системі зворотного водопостачання встановлений термометр опору мідний типу ТСМ-50М поз. 10.3, що фіксує значення температури та передає його у вигляді сигналу на

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

автоматичний показуючий міст типу КСМ-2 поз. 10.4, який реєструє та показує значення температури.

Автоматичне вимірювання концентрації залишкового озону у знезараженій воді

На потоці знезараженої води, яка надходить до резервуарів чистої води встановлений датчик концентрації озону поз 11.1, який визначає концентрацію озону у води, та за допомогою перетворювача-підсилювача сигналу з поз. 11.2 передає данні у вигляді підсиленого сигналу аналізатору концентрації озону типу «Циклон –АВЗ», поз. 11.3, який показує значення концентрації озону у воді та у разі перевищення допустимої норми подає сигнал оператору.

Автоматичне дистанційне вимірювання тиску води у системі зворотного водопостачання

У системі зворотного водопостачання встановлений перетворювач тиску безшкальний типу МЭД 22364 поз. 12.1, який вимірює значення тиску, та передає вимірюване значення на автоматичний міліамперметр типу КСУ-2-004 поз. 12.2,

встановлений на щиті, який показує та реєструє отримані данні про значення тиску в системі.

Автоматичне регулювання рівня води в резервуарі дозатору озону

Після реакції озону з водою, очищена вода прямує до резервуарів чистої води, тим самим знижуючи рівень води в резервуарі, це фіксує датчик нижнього рівня первинного перетворювача типу ПП-005 поз. 13.1, та подасть сигнал на сигналізатор рівня електронний типу РИСУНОК-101м1 поз. 13.2, який, подасть сигнал на реверсивний магнітний пускач поз. 13.5, що своєю дією змусить електромагнітний вентиль типу ЕВ-2 поз. 13.6 відкритися, внаслідок чого підготовлена вода для озонування почне заповнювати резервуар. Коли резервуар дозатора озону заповнився водою, це фіксує датчик верхнього рівня перетворювача ПП-005, та подасть сигнал електронному сигналізатору рівня

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

типу РИСУНОК-101м1, який вимкне електромагнітний вентиль ЕВ-2, та зупинить подачу води до резервуару.

1.3 Опис принципової схеми автоматизації процесу озонування води

Принципова схема автоматизації процесу озонування води зображена на кресленні ДП.151.15.02.000 А3 графічної частини проекту. На цьому кресленні зображені такі системи автоматизації:

- автоматичне керування приводом обертової сітки повітряного фільтру;
- автоматичне керування приводом витяжного вентилятора в залежності від концентрації озону в повітрі приміщення;
- автоматичне керування приводами вентиляторів охолоджуючої градирні в залежності від температури води після озонаторного котла;
- автоматичне керування приводом циркуляційного насоса.

Автоматичне керування приводом обертової сітки повітряного фільтру

В автоматичному режимі керування, якщо обертова сітка фільтру забруднилася, то збільшиться перепад тиску повітря на ній, це зафіксує електроконтактний сигналізатор тиску, в якому замкнеться контакт SPD1 і включиться реле KV1, замикаючий контакт цього реле увімкне обмотку реле KV3, автоматичного керування обмоткою пускача KM1 привода сітки, яка почне при цьому реле KV3 візьметься на самоблокування своїм замикаючим контактом KV3 для того, щоб сітка зупинилась, коли вона повністю промиється, а перепад тиску на ній зменшиться до нормативного значення. Якщо сітка промилася, то в сигналізаторі з поз. позн. 1.1 замкнеться контакт SPD2 і включить реле KV2, а його розмикаючий контакт в колі самоблокування реле KV3 розімкнеться, реле KV3 відключиться, обмотка пускача KM1 виключиться і сітка зупиниться. В ручному режимі керування, якщо сітка фільтру забруднилася, привід обертової сітки включається через контакти магнітного пускача KM1, після натискання на кнопку SB2 станції ручного керування.

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Автоматичне керування приводом витяжного вентилятора в залежності від концентрації озону в повітрі приміщення

В автоматичному режимі керування пускач приводу витяжного вентилятора КМ2 включається через замикаючий контакт реле КV6, обмотка цього реле вмикається через замикаючий контакт реле КV4 у випадку, якщо в приміщенні концентрація озону перевищує допустимі норми, на це прореагує датчик концентрації озону в складі повітря приміщення, що підключений до газоаналізатора озону поз. 8.3, при цьому в газоаналізаторі замкнеться транзисторний ключ SQ max і ключиться реле КV4, а замикаючий контакт цього реле увімкне коло живлення обмотки КV6 і включиться пускач приводу витяжного вентилятора. Коли приміщення очистилось від забруднення, то в газоаналізаторі замкнеться контакт SQ min і включиться реле КV5, розмикаючий контакт цього реле розімкнеться і виключить реле КV6, що призведе до вимкнення приводу вентилятора і до його зупинки. В ручному режимі керування привід вентилятора включається через контакти обмотки магнітного пускача КМ2, після натискання кнопки SB4 станції ручного керування.

Автоматичне керування приводами вентиляторів охолоджуючої градирні в залежності від температури води після озонаторного котла

В автоматичному режимі керування якщо температура нагрітої води технологічного виробництва в складі системи зворотного водопостачання збільшилась до позначки T_{max} , то це зафіксує термобалон поз. 5.1 манометричного сигналізатора температури 5.2 типу ТС - 100, а в приладі замкнеться контакт ST2, через який ввімкнеться реле КV8. Замикаючі контакти цього реле увімкнуть, кола живлення обмоток КМ3, КМ4, КМ5 магнітних пускачів 5.9, 5.10, 5.11 всіх трьох повітродувок і почнеться процес охолодження води. При зниженні температури до позначки T_{min} в сигналізаторі замкнеться контакт ST1, через який включається реле КV7. Замикаючий контакт цього реле ввімкне коло живлення обмотки КМ4 пускача

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.10 повітродувки №2. Якщо температура води буде посередині діапазону регулювання то в сигналізаторі обидва контакти ST1 і ST2 будуть розімкнуті, а реле KV7 і KV8 відключаться, їх розмикаючі контакти замкнуться і увімкнуть живлення обмотки реле KV9. Замикаючі контакти цього реле увімкнуть обмотки КМ3 і КМ4 пускачів 5.10 і 5.11 повітродувок №1 і №2. В ручному режимі керування приводи повітродувок №1, №2, №3 включаються через контакти обмоток магнітних пускачів КМ3, КМ4, КМ5 при натисканні оператором відповідних кнопок SB6, SB8, SB10.

Автоматичне керування приводом циркуляційного насоса

Якщо тиск зменшився до позначки $P_{\min}$ перед охолоджуючим кожухом, що зафіксується електроконтактним манометром з поз. 4.1 типу МТ-4С, то в ньому замкнуться контакти SP min. Це приведе до включення реле KV10, через замикаючий контакт якого замкнеться електричне коло реле KV12. Через один замикаючий контакт KV12 включиться обмотка КМ6 магнітного пускача з поз. 4.4 типу ПМЕ-220 привода циркуляційного насосу, який запуститься. А другим замикаючим контактом реле KV12 ввімкнеться на самоблокування. Охолоджуючий кожух почне поповнюватись водою. Тиск води почне збільшуватися, а коли він досягне значення $P_{\max}$, то в електроконтактному манометрі замкнеться контакт SP max, спрацює реле KV11, його розмикаючий контакт розімкнеться в колі самоблокування реле KV12, яке відключиться, а його замикаючий контакт розімкне коло живлення обмотки КМ6 пускача приводу циркуляційного насосу.

1.4 Опис схеми автоматизації процесу озонування води

Функціональна схема автоматизації процесу озонування води представлена на кресленні ДП.151.15.01.000 А2 графічної частини проекту. На цьому кресленні зображені такі системи автоматизації:

- автоматичне керування приводом обертової сітки повітряного фільтру (поз. позн. 1.1-1.4);

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- дистанційне керування приводом повітродувки (поз. позн. 2.1-2.2);
- автоматичне регулювання температури в осушувачі з регулюючою дією на клапан паропроводу (поз. позн. 3.1-3.5);
- автоматичне керування приводом циркуляційного насоса (поз. позн. 4.1-4.4);
- автоматичне керування приводами вентиляторів охолоджуючої градирні в залежності від температури води після озонаторного котла (поз. позн. 5.1-5.11);
- автоматичне керування підживлюючим насосом (поз. позн. 6.1-6.4);
- автоматичне регулювання рівня води у баку-акумуляторі позиційної дії з регулюючою дією на вхідний соленоїдний вентиль (поз. позн. 7.1-7.5);
- автоматичне керування приводом витяжного вентилятора в залежності від концентрації озону в повітрі приміщення (поз. позн. 8.1-8.6);
- автоматичне дистанційне вимірювання тиску повітря в ресивері і тиску на вході змішувача (поз. позн. 9.1-9.4);
- автоматичне дистанційне вимірювання температури нагрітої і охолодженої води в системі зворотного водопостачання (поз. позн. 10.1-10.4);
- автоматичне вимірювання концентрації залишкового озону у знезараженій воді (поз. позн. 11.1-11.3);
- автоматичне дистанційне вимірювання тиску води у системі зворотного водопостачання (поз. позн. 12.1-12.2);
- автоматичне регулювання рівня води в резервуарі дозатору озону (поз. позн. 13.1-13.2).

Автоматичне керування приводом обертової сітки повітряного фільтру
Коли сітка фільтру забруднилася, це створює значний перепад тиску на вході та виході фільтру, на це реагують датчики електроконтактного сигналізатору тиску типу РПД-Д поз. 1.1, та якщо універсальний перемикач режиму роботи поз. 1.3 знаходиться в положенні

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

автоматичного режиму роботи, то подається сигнал на магнітний пускач поз. 1.4, який приводить в дію привід фільтру, змушуючи сітку обертатися в резервуарі з мастилом, та очищуючи її від забруднення.

Дистанційне керування приводом повітродувки

При потребі подачі повітря оператор натискаючи на кнопку станції ручного керування поз. 2.1, подає живлення на магнітний пускач поз. 2.2, який вмикає привід повітродувки.

Автоматичне регулювання температури в осушувачі з регулюючою дією на клапан паропроводу

При зниженні температури в осушувачі термометр опору мідний типу ТСМ-50М поз. 3.1 подає сигнал на мікроелектронний регулятор температури типу Autonics T3S1 поз. 3.2, блок керування поз. 3.3 оброблює вхідні дані та задає режим керування згідно з певною часовою програмою, згідно з якою подається сигнал магнітному пускачу поз. 3.4 тому, який своєю регулюючою дією на клапан паропроводу поз. 3.5 змінює температуру в осушувачі.

Автоматичне керування приводом циркуляційного насоса

При зниженні тиску після циркуляційного насосу, це зафіксує датчик електроконтактного манометра, типу МТ-4С поз. 4.1, та якщо універсальний перемикач режиму роботи поз. 4.3 знаходиться в положенні автоматичного керування, подасть сигнал на нереверсивний магнітний пускач поз. 4.4, який ввімкне привід циркуляційного насосу.

Автоматичне керування приводами вентиляторів охолоджуючої градирні

в залежності від температури води після озонаторного котла

Температура води, що надходить до вентиляторної градирні може коливатися, її фіксує термобалон поз. 5.1 і подає дані про температуру води у вигляді сигналу на манометричний сигналізатор температури ТС-

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

100 поз. 5.2, який в залежності від отриманих даних про температуру гарячої води подає сигнал на магнітні пускачі поз. 5.9, 5.10, 5.11, які вмикають від однієї до трьох повітродувок, для зниження температури до необхідних 15°C. Кількість ввімкнених повітродувок залежить від температури гарячої води, при максимальному її значенні потрібно ввімкнути всі три повітродувки. Якщо температура має мінімальне значення, буде достатньо всього однієї, коли значення середнє вмикаються 2 повітродувки.

Автоматичне керування підживлюючим насосом

З часом в системі оборотного водопостачання рівень води зменшується, а отже і значення тиску зменшується, це фіксує своїми датчиками електроконтактний манометр типу МТ-4С поз. 6.1, та якщо універсальний перемикач режиму роботи поз. 6.3 знаходиться в положенні автоматичного керування, подає сигнал на нереверсивний магнітний пускач поз. 6.4, який вмикає привод підживлюючого насоса, що підживлює систему оборотного водопостачання технічною водою з баку-акумулятора.

Автоматичне регулювання рівня води у баку-акумуляторі позиційної дії з

регулюючою дією на вхідний соленоїдний клапан

Якщо в баку-акумуляторі знизився рівень води, це зафіксує датчик нижнього рівня первинного перетворювача ПП-005 поз. 7.1, та подасть сигнал на електронний сигналізатор рівня типу РИСУНОК-101м1 поз. 7.2 який, знаходячись в положенні автоматичного керування універсального перемикача режиму роботи поз. 7.4, подасть сигнал на реверсивний магнітний пускач поз. 7.5, що своєю дією змусить електромагнітний клапан типу ЕВ-2 поз. 7.6 відкритися, внаслідок чого технічна вода почне заповнювати бак-акумулятор. Коли резервуар заповниться водою, це фіксує датчик верхнього рівня перетворювача ПП-

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

005, та подасть сигнал електронному сигналізатору рівня типу РИСУНОК-101м1, який вимкне електромагнітний вентиль ЕВ-2, та зупинить подачу води до резервуару баку-акумулятору.

Автоматичне керування приводом витяжного вентилятора в залежності від концентрації озону в повітрі приміщення

При забрудненні приміщення озоном, це фіксує датчик концентрації озону поз. 8.1, який через перетворювач-підсилювач тиску поз. 8.2, перетворює, підсилює сигнал та надсилає його на газоаналізатор концентрації озону типу 652 ХЛ 20 поз. 8.3, що подасть команду на неререверсивний магнітний пускач поз. 8.6, який призведе до включення приводу витяжного вентилятору. Коли приміщення очиститься це зафіксує датчик концентрації озону та подасть сигнал на газоаналізатор концентрації озону, що дасть команду неререверсивному магнітному пускачу вимкнути привод витяжного вентилятора.

Автоматичне дистанційне вимірювання тиску повітря в ресивері і тиску на вході змішувача

У ресивері встановлений перетворювач тиску безшкальний типу МЭД 22364 поз. 9.1, який вимірює значення тиску, та передає вимірюване значення на автоматичний міліамперметр типу КСУ-2-004 поз. 9.2, встановлений на щиті, який показує та реєструє отримані дані. На вході змішувача встановлений перетворювач тиску безшкальний типу МЭД 22364 поз. 9.3, який вимірює значення тиску, та передає вимірюване значення на автоматичний міліамперметр типу КСУ-2-004 поз. 9.4, встановлений на щиті, реєструючи та показуючи отримані дані.

Автоматичне дистанційне вимірювання температури нагрітої і охолодженої води в системі зворотного водопостачання

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На потоці гарячої води в системі зворотного водопостачання встановлений термометр опору мідний типу ТСМ-50М поз. 10.1, що фіксує значення температури, надсилаючи виміряне значення у вигляді сигналу на автоматичний показуючий міст типу КСМ-2 поз. 10.2, який реєструє та показує значення температури. На потоці холодної води в системі зворотного водопостачання встановлений термометр опору мідний типу ТСМ-50М поз. 10.3, що фіксує значення температури та передає його у вигляді сигналу на автоматичний показуючий міст типу КСМ-2 поз. 10.4, який реєструє та показує значення температури.

Автоматичне вимірювання концентрації залишкового озону у знезараженій воді

На потоці знезараженої води, яка надходить до резервуарів чистої води встановлений датчик концентрації озону поз 11.1, який визначає концентрацію озону у води, та за допомогою перетворювача-підсилювача сигналу з поз. 11.2 передає данні у вигляді підсиленого сигналу аналізатору концентрації озону типу «Циклон –АВ3», поз. 11.3, який показує значення концентрації озону у воді та у разі перевищення допустимої норми подає сигнал оператору.

Автоматичне дистанційне вимірювання тиску води у системі зворотного водопостачання

У системі зворотного водопостачання встановлений перетворювач тиску безшкальний типу МЭД 22364 поз. 12.1, який вимірює значення тиску, та передає вимірюване значення на автоматичний міліамперметр типу КСУ-2-004 поз. 12.2, встановлений на щиті, який показує та реєструє отримані данні про значення тиску в системі.

Автоматичне регулювання рівня води в резервуарі дозатору озону

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після реакції озону з водою, очищена вода прямує до резервуарів чистої води, тим самим знижуючи рівень води в резервуарі, це фіксує датчик нижнього рівня первинного перетворювача типу ПП-005 поз. 13.1, та подасть сигнал на сигналізатор рівня електронний типу РИСУНОК-101м1 поз. 13.2, який, подасть сигнал на реверсивний магнітний пускач поз. 13.5, що своєю дією змусить електромагнітний вентиль типу ЕВ-2 поз. 13.6 відкритися, внаслідок чого підготовлена вода для озонування почне заповнювати резервуар. Коли резервуар дозатора озону заповниться водою, це фіксує датчик верхнього рівня перетворювача ПП-005, та подасть сигнал електронному сигналізатору рівня типу РИСУНОК-101м1, який вимкне електромагнітний вентиль ЕВ-2, та зупинить подачу води до резервуару.

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 2 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОЗОНУВАННЯ

2.1 Створення моделі процесу озонування

На рисунок.2.1 представлено схему апарату та вхідні і вихідні потоки для апарату

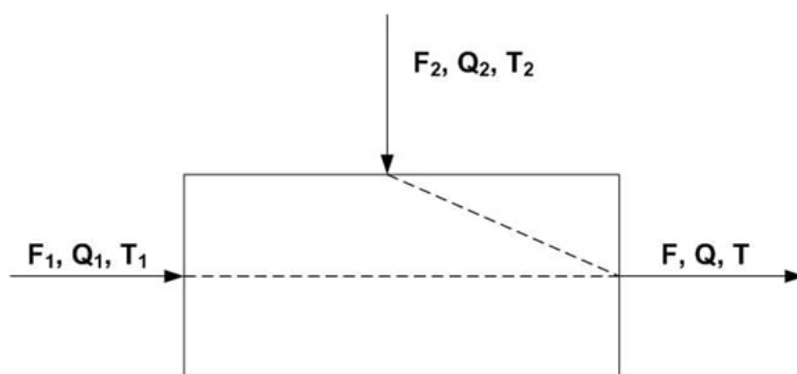


Рисунок. 2.1 – Схема апарату

Матеріальний баланс для апарату:

$$F_1 Q_1 + F_2 Q_2 + \dot{\rho} V K_0 \exp\left(\frac{-E}{RT}\right) \left(Q - \frac{F_1 Q_1 + F_2 Q_2}{F_1 + F_2}\right) - (F_1 + F_2) Q = \dot{\rho} V C \frac{dQ}{dt} \quad (1.1)$$

Оскільки основним фактором, що впливає на якість проведення процесу, є температура газу, ми будемо використовувати тепловий баланс як основу для його опису.

Загальне рівняння теплового балансу для газового об'єму в апараті з екзотермічним процесом включає компоненти надходження тепла та його витрату. Це рівняння можна записати у наступному вигляді:

$$F_1 c_1 T_1 + F_2 c_2 T_2 + \dot{\rho} r V K_0 \exp\left(\frac{-E}{RT}\right) \left(Q - \frac{F_1 Q_1 + F_2 Q_2}{F_1 + F_2}\right) - (F_1 + F_2) c T = \dot{\rho} V C \frac{dT}{dt} \quad (1.2)$$

Тепловий баланс по озону:

$$F_1 c_1 T_1 + F_2 c_2 T_2 + \dot{\rho} r V K_0 \exp\left(\frac{-E}{RT}\right) \left(Q - \frac{F_1 Q_1 + F_2 Q_2}{F_1 + F_2}\right) - (F_1 + F_2) c T = 0 \quad (1.3)$$

Пояснення для змінних у формулі:

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- (F): потік газу, $\text{м}^3/\text{год}$ (витрата газової суміші). Він позначає об'єм газу, який проходить через систему.
- (Q): теплова енергія, Дж (зазвичай описує кількість тепла, що генерується чи поглинається у реакції або апараті).
- (C): концентрація компонентів у потоці (наприклад, (O_2) для концентрацій (O_3) чи інших газів).
- (E): енергія активації, Дж/моль (енергія, необхідна для початку хімічної реакції).
- (R): універсальна газова стала, Дж/(моль·К), яка викориснуноктовується для зв'язку температури й енергії у термодинамічних рівняннях.

Ці змінні є стандартними для опису процесів у апараті, таких як озонування чи (O_3), і викориснуноктовуються в рівняннях матеріального та теплового балансу.

Перетворимо рівняння в лінійне:

$$T(F_1) = 23F_1 + 368.6$$

З отриманих даних побудуємо статичну характериснуктику (рисунок.2.2).

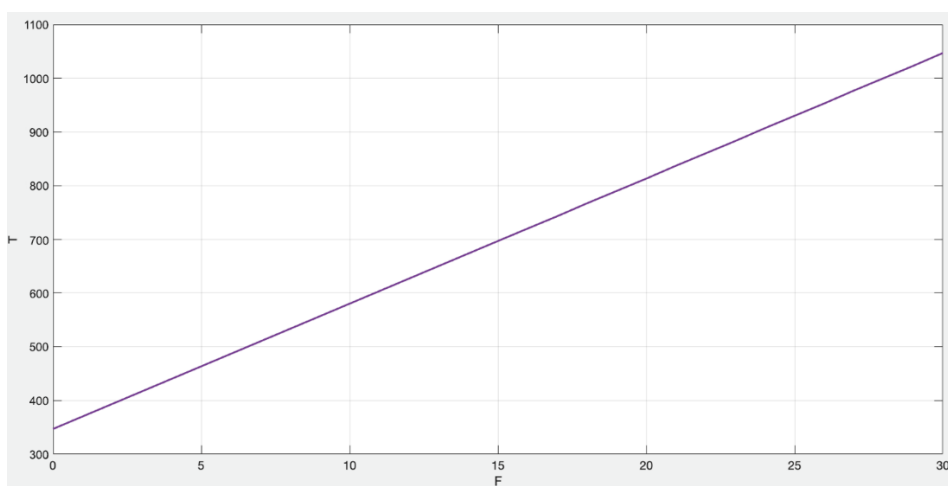


Рисунок. 2.2 - Температура на виході залежно від зміни витрати

Математичну модель контактного апарата, отримано на основі матеріального та теплового балансу у вигляді системи рівнянь:

$$\begin{aligned} F_1 Q_1 + F_2 Q_2 + \dot{\rho} V K_0 \exp\left(\frac{-E}{RT}\right) \left(Q - \frac{F_1 Q_1 + F_2 Q_2}{F_1 + F_2}\right) - (F_1 + F_2) Q &= \dot{\rho} V C \frac{dQ}{dt} \\ F_1 c_1 T_1 + F_2 c_2 T_2 + \dot{\rho} r V K_0 \exp\left(\frac{-E}{RT}\right) \left(Q - \frac{F_1 Q_1 + F_2 Q_2}{F_1 + F_2}\right) - (F_1 + F_2) c T &= \dot{\rho} V C \frac{dT}{dt} \end{aligned} \quad (1.4)$$

Лінеаризація рівнянь

Система диференціальних рівнянь, яка описує процес, є нелінійною. Хоча така математична модель дає загальне уявлення про систему, її складно викориснуноктовувати для детального аналізу та практичного застосування. Для спрощення дослідження та оптимізації процесу в реакторі необхідно лінеаризувати цю систему, що дозволить отримати лінійну диференціальну модель у стаціонарному режимі.

Для цього вводяться заміни, які дозволяють перейти до величин, виражених у вигляді відхилень від стаціонарного стану:

$$F_1(t) = F_{10} + \Delta F_1(t);$$

$$Q(t) = Q_{20} + \Delta Q(t);$$

$$T_{out}(t) = T_{out 0} + \Delta T_{out}(t);$$

Запишемо систему лінеаризованих рівнянь:

$$162018.26 \Delta Q + 20224.07 \Delta F_1 - 1532.4823 \Delta T_{out} + 1.1012$$

$$1.833 \Delta Q + 0.03149 \Delta F_1 - 0.0001643 \Delta T_{out} - 0.08488$$

Відповідно, маємо:

$$a_{11} = \frac{-1532.48}{1950} = -0.786;$$

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$a_{12} = \frac{162018.26}{1950} = 83.086;$$

$$a_{21} = \frac{-0.00016437}{1950} = -8.429 * 10^{-8};$$

$$a_{22} = \frac{1.8333}{1950} = 9.402 * 10^{-4}.$$

$$b_{11} = \frac{20224.072}{1950} = 10.37;$$

Спочатку приведемо математичну модель до наступного вигляду:

$$\begin{cases} \frac{d T_{out}}{d t} = a_{11} T_{out} + a_{12} Q + b_{11} F_1 \\ \frac{d Q}{d t} = a_{21} T_{out} + a_{22} Q \end{cases} \quad (1.5)$$

За каналом управління:

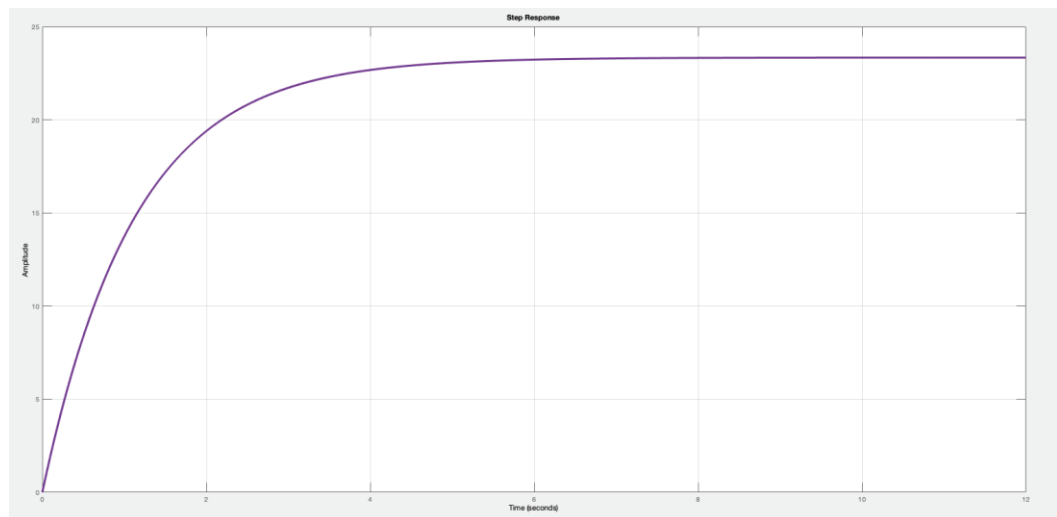


Рисунок.2.3 - Перехідна характеристика ОТК за каналом $F_1 \rightarrow T$

Розділ 3 ОПТИМАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ

3.1 Розрахунок оптимального управління процесом

Визначення критерію оптимізації

Завдання: Зменшити витрати озонної суміші, яка надходить у апарат, та забезпечити стабільність температури на виході на заданому рівні.

Для розв'язання цієї задачі необхідно вибрати інтегральний критерій якості. Це дозволить оцінити ефективність процесу та забезпечити відповідність ключових параметрів. Основна вимога – підтримувати температуру газу на виході з реактора на постійному рівні. Таким чином, у критерій оптимізації включається показник температури газу на виході з апарата:

$$I = \frac{1}{2} \int_0^{t_f} [q(T_{out} - T_{out}^{3d})^2 + rF_1^2] dt \rightarrow \min \quad (1.6)$$

Виведення умов для досягнення оптимальності

Функція Гамільтона матиме вигляд:

$$H = \frac{1}{2} q(T_{out} - T_{out}^{3d})^2 + \frac{1}{2} r F_1^2 + \lambda_1 (a_{11} T_{out} + a_{12} Q + b_{11} F_1) + \lambda_2 (a_{21} T_{out} + a_{22} Q) \quad (1.7)$$

Запишемо умови оптимальності:

$$\begin{aligned} \lambda'_1 &= -\frac{\partial H}{\partial T_{out}} = -q(T_{out} - T_{out}^{3d}) - \lambda_1 a_{11} - \lambda_2 a_{21} \\ \lambda'_2 &= -\frac{\partial H}{\partial Q} = -\lambda_1 a_{12} - \lambda_2 a_{22} \\ \frac{\partial H}{\partial F_1} &= r F_1 + \lambda_1 b_{11} = 0 \\ \lambda_1(t_f) &= 0 \\ \lambda_2(t_f) &= 0 \end{aligned} \quad (1.8)$$

Оптимальне керування:

$$F_1 = -\frac{\lambda_1 b_{11}}{r} \quad (1.9)$$

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рівняння системи в прямому часі:

$$\begin{cases} \frac{T_{out}^{v+1} - T_{out}^v}{\tau} = a_{11}T_{out}^v + a_{12}Q_0^v + b_{11}F_1^v \\ \frac{Q_0^{v+1} - Q_0^v}{\tau} = a_{21}T_{out}^v + a_{22}Q_0^v \end{cases} \quad (1.10)$$

Спряжена система в зворотному часі:

$$\begin{cases} \frac{\lambda_1^v - \lambda_1^{v-1}}{\tau} = -q(T_{out}^v - T_{out}^{зад}) - \lambda_1^v a_{11} - \lambda_2^v a_{21} \\ \frac{\lambda_2^v - \lambda_2^{v-1}}{\tau} = -\lambda_1^v a_{12} - \lambda_2^v a_{22} \end{cases} \quad (1.11)$$

$$\begin{cases} \lambda_1^{v-1} = \lambda_1^v - \tau(-q(T_{out}^v - T_{out}^{зад}) - \lambda_1^v a_{11} - \lambda_2^v a_{21}) \\ \lambda_2^{v-1} = \lambda_2^v - \tau(-\lambda_1^v a_{12} - \lambda_2^v a_{22}) \end{cases}$$

Обчислення оптимального алгоритму управління

Розрахунок оптимального програмного управління було здійснено за допомогою програмного пакета MatLab.

Спершу необхідно записати програмний код функції, яка виконує обчислення величини x_1 . Для цього ініціалізуємо початкові дані та виконуємо розрахунок x_1 відповідно до заданої формули.

x_1 : конверсія або ступінь перетворення одного з реагентів (наприклад, кисню або O_2). Це показник того, яка частка вихідної речовини вступила в реакцію.

x_2 : конверсія іншого компонента (можливо, додаткового реагенту). Наприклад, це може бути пов'язано з вмістом енергії або іншого реагенту, який бере участь у реакції.

```
function [x1,x2,t,N] = findx()
x1 = [ ];
x2 = [ ];
x1(1) = 274;
```

```

x2(1) = 0.0335;
N = 60;
a11 = -0.786;
a12 = 83.086;
b12 = 10.37;
F1 = 1.2;
a21 = -8.429e-8;
a22 = 9.402e-4;
TAU = 0.5;
t = 0:N-1;
for s = 1:N-1
    x1(s+1) = (a11*x1(s) + a12*x2(s) + b12*F1)*TAU + x1(s);
    x2(s+1) = (a21*x1(s) + a22*x2(s))*TAU + x2(s);
end
end

```

Запишемо програмний код функції для розрахунку λ_1 . Ініціалізуємо наші данні та розрахуємо за формулою λ_1 .

```

function [lam1,lam2] = findlambda(x1,x2,N)
lam1(N) = x1(N);
lam2(N) = x2(N);
q = 1;
a11 = -0.786;
a12 = 83.086;
a21 = -8.429e-8;
a22 = 9.402e-4;
TAU = 0.5;
for s = N:-1:1
    lam1(s+1) = lam1(s) - TAU*(-q*x1(s) - a11*lam1(s) - a21*lam2(s));
    lam2(s+1) = lam2(s) - TAU*(-a12*lam1(s) - a22*lam2(s));
end
end

```

Запишемо програмний код функції для розрахунку G_0 . Ініціалізуємо наші данні та розрахуємо за формулою G_0 .

```

function [U_opt] = findUprav(N,lam2)
r = 1;
b11 = 10.37 ;
for i = 1:N

```

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		


```
U_opt(i) = -(r^-1)*b11*lam2(i);
```

```
End
```

Після написання функцій для розрахунку відповідних параметрів, запишемо код основної програми де викличимо попередньо записані функції з розрахунками та побудуємо відповідні графіки.

```
[x1,x2,t,N] = findx();
[lam1, lam2] = findlambda(x1,x2,N);
[U_opt] = findUprav(N,lam2);
f1 = figure;
f2 = figure;
f3 = figure;
f4 = figure;
plot(t,x1)
title('Изменение x1');
grid on;
figure(f1)
plot(t,x2)
title('Изменение x2');
grid on;
figure(f2)
k= 1:1:61;
plot(k,lam1)
title('Изменение λ1');
figure(f3)
plot(k,lam2)
title('Изменение λ2');
figure(f4)
f5= figure;
plot(t,U_opt)
figure(f5)
```

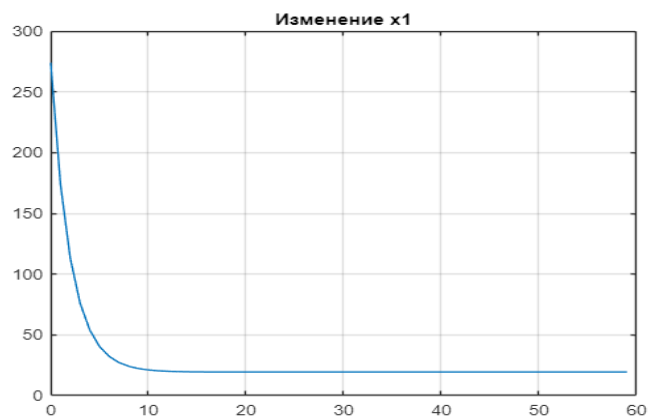


Рисунок. 3.1 - Графік зміни x_1

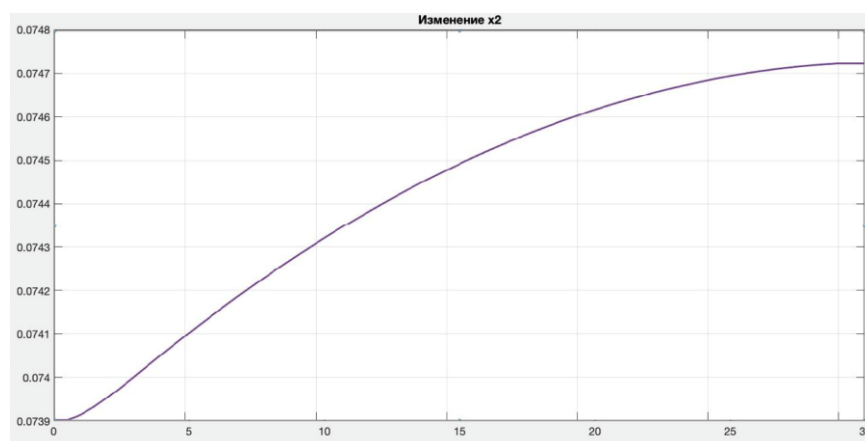


Рисунок. 3.2 - Графік зміни x_2

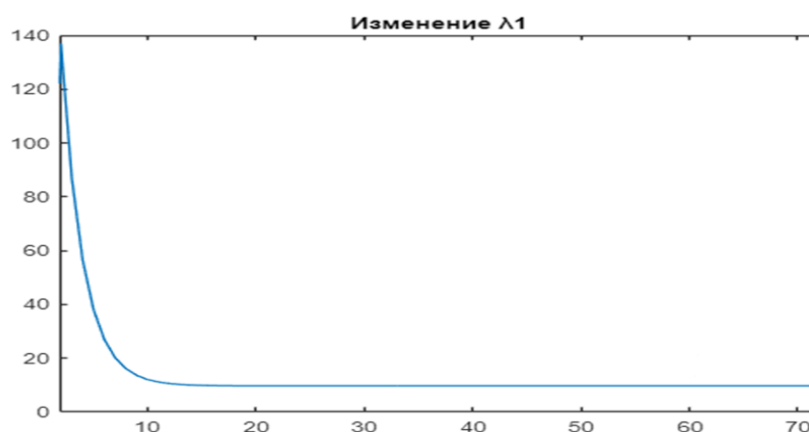


Рисунок. 3.3 - Графік зміни λ_1

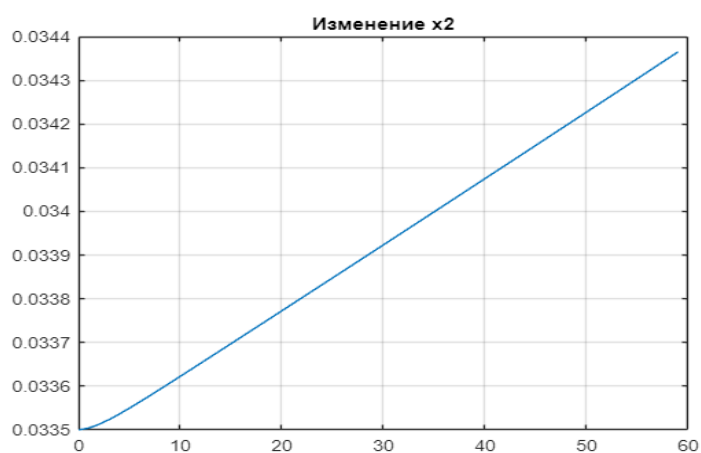


Рисунок. 3.4 - Графік зміни λ_2

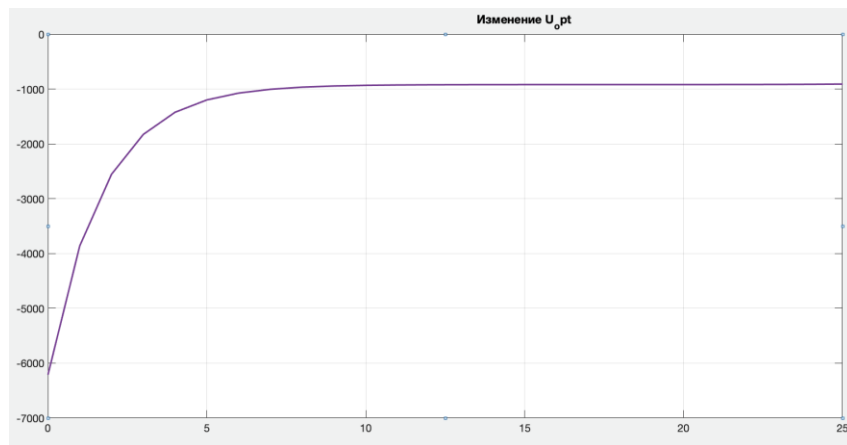


Рисунок. 3.5 - Графік зміни керування F_1

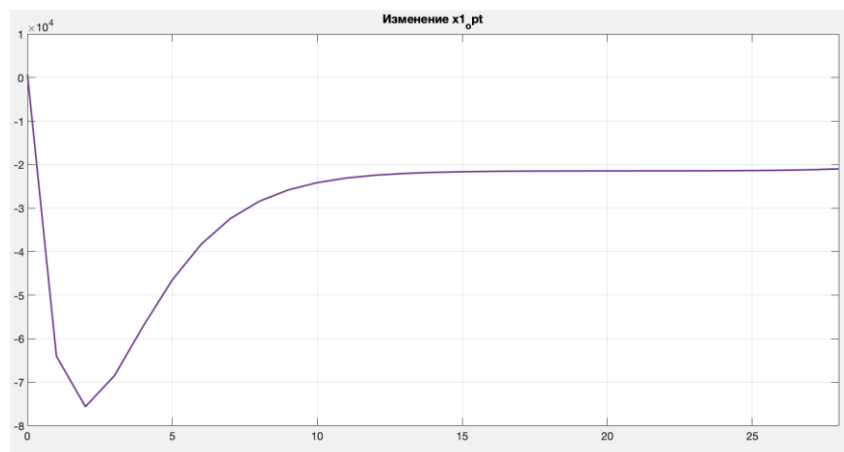


Рисунок. 3.6 - Графік зміни $x1_{opt}$

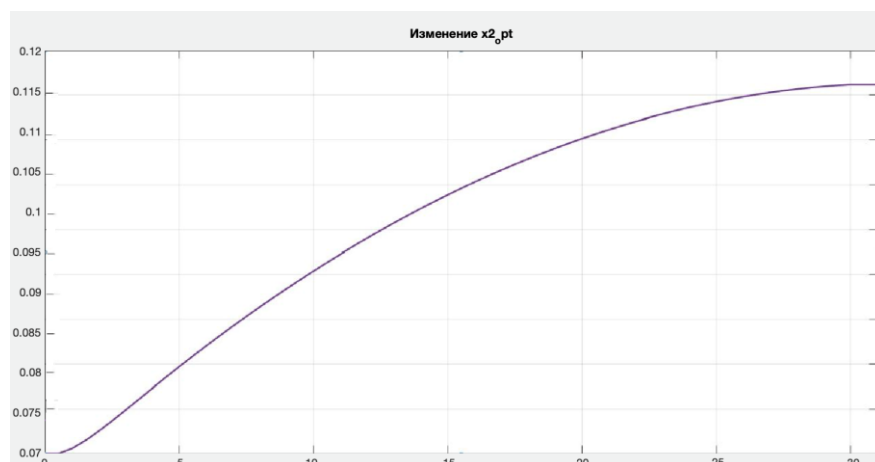


Рисунок. 3.7 - Графік зміни $x2_{opt}$

Розділ 4 РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ З ЗАСТОСУВАННЯМ СЕРЕДОВИЩА MATLAB

4.1. Розробка оптимального лінійно-квадратичного регулятора

На рисунку 4.1 представлено структурну схему системи керування температурою контактного газу на виході з апарату.

Розрахунок оптимального управління із зворотним зв'язком на основі квадратичного критерію якості виконано в середовищі MatLab.

Оптимальний лінійний регулятор:

$$\begin{aligned} U(t) &= -K(t)X(t) \\ K(t) &= -R^{-1}BP(t) \end{aligned} \quad (1.12)$$

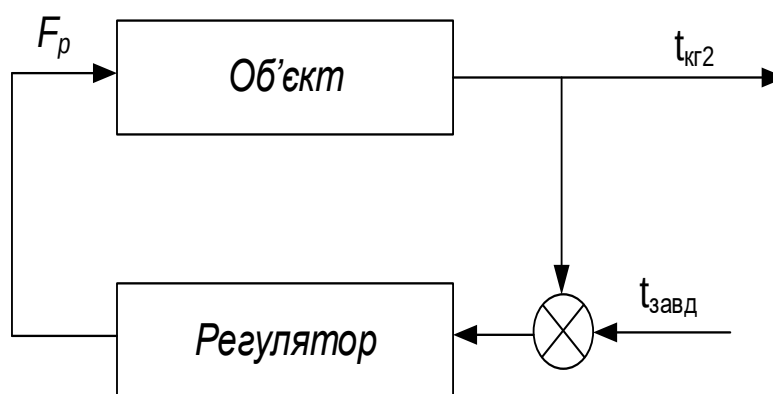


Рисунок.4.1 – Структурна схема контуру керування

Отримані залежності дозволяють визначити лінійний оптимальний регулятор із матричним коефіцієнтом підсилення КК, який мінімізує критерій якості на траєкторіях системи. При цьому:

1. Матричний коефіцієнт підсилення КК визначається незалежно від змінних XX і UU , тобто поза контуром керування. Для його обчислення необхідно розв'язати рівняння Ріккати у зворотному часі.
2. У разі сталих матриць AA , BB , RR , QQ і при $t \rightarrow \infty$, матриця PP наближається до усталеного значення. Це значення можна знайти, розв'язавши алгебраїчне нелінійне матричне рівняння:

$$\begin{aligned} \frac{dp_{11}}{dt} &= -p_{11} \cdot a_{11} - a_{11}^T \cdot p_{11} + p_{11} \cdot b_{11} \cdot R^{-1} \cdot b_{11}^T \cdot p_{11} - Q_{11} \\ \frac{dp_{12}}{dt} &= -p_{12} \cdot a_{12} - a_{12}^T \cdot p_{12} + p_{12} \cdot b_{11} \cdot R^{-1} \cdot b_{11}^T \cdot p_{12} - Q_{12} \end{aligned} \quad (1.13)$$

$$\begin{aligned}\frac{dp_{21}}{dt} &= -p_{21} \cdot a_{21} - a_{21}^T \cdot p_{21} + p_{21} \cdot b_{12} \cdot R^{-1} \cdot b_{12}^T \cdot p_{21} - Q_{21} \\ \frac{dp_{22}}{dt} &= -p_{22} \cdot a_{22} - a_{22}^T \cdot p_{22} + p_{22} \cdot b_{12} \cdot R^{-1} \cdot b_{12}^T \cdot p_{22} - Q_{22}\end{aligned}$$

Зробимо заміну:

$$\begin{aligned}\frac{dp_{11}}{dt} &= -p_{11} \cdot -0.7860 - -0.7860^T \cdot p_{11} + p_{11} \cdot 10.3700 \cdot R^{-1} \cdot 10.3700^T \cdot p_{11} - 1 \\ \frac{dp_{12}}{dt} &= -p_{12} \cdot 83.0860 - 83.0860^T \cdot p_{12} + p_{12} \cdot 10.3700 \cdot R^{-1} \cdot 10.3700^T \cdot p_{12} - 0 \\ \frac{dp_{21}}{dt} &= -p_{21} \cdot -8.429e^{-8} + 8.429e^{-8T} \cdot p_{21} + p_{21} \cdot 0 \cdot R^{-1} \cdot 0^T \cdot p_{21} - 0 \\ \frac{dp_{22}}{dt} &= -p_{22} \cdot 0.9402e^3 - 0.837e^{3T} \cdot p_{22} + p_{22} \cdot 0 \cdot R^{-1} \cdot 0^T \cdot p_{22} - 0\end{aligned}$$

Це, своєю чергою, забезпечує сталість матричного коефіцієнта підсилення регулятора КК.

3. Розглянемо сенс критерію якості. Квадратичне зваження кінцевого стану системи сприяє досягненню бажаного рівня якості керування. Проте квадратичне зваження керуючих дій є менш обґрунтованим, особливо за умови низької вартості ресурсів. У деяких випадках це зваження заміняє явні обмеження на величину керуючих впливів, дозволяючи отримати оптимальний закон зворотного зв'язку в аналітичній формі.

Однак вибір надто великих значень вагової матриці RR може спричинити значні відхилення фактичного кінцевого стану від бажаного. Натомість надто малі значення RR призводять до надмірно високих значень керуючих сигналів UU. Основними обмеженнями залишаються вимога додатної визначеності матриці RR та неможливість застосування явних обмежень на XX і UU.

4. Для розширення можливостей оптимізації можна вводити більш загальний критерій якості

$$J = 1/2 X(t_f)^T S_f X(t_f) + 1/2 \int_0^{t_f} (X^T Q X + U^T R U + 2 X^T N U) dt \quad (1.14)$$

в якому враховуються взаємозв'язки між керуваннями та станом, можна показати, що оптимальний регулятор визначається, як і раніше, виразом з коефіцієнтом підсилення:

$$K = R^{-1}(B^T P - N^T).$$

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вимоги, що до існування оптимального лінійно квадратичного регулятора:

1. пара матриць $[A, B]$ має бути повністю керована;
2. мають виконуватися нерівності $R > 0, Q - NR^{-1}N^T \geq 0$;
3. пара матриць $[Q - NR^{-1}N^T, A - BR^{-1}N^T]$ не може мати спостережувані моди з власними значеннями на дійсній осі.

У практичному застосуванні алгоритмів оптимального керування часто виникають труднощі з досягненням ідеально точних результатів. Це обумовлено тим, що під час розробки математичної моделі керованого процесу зазвичай викориснуноктовуються спрощені або апроксимовані моделі, які враховують лише основні взаємозв'язки. Через це такі моделі лише частково відповідають реальним умовам.

У реальній експлуатації похибки алгоритмів оптимізації можуть накопичуватися з часом, особливо на великих часових проміжках, що може призводити до втрати стійкості алгоритмів. Проблеми зі стійкістю часто виникають через складності в реалізації рівняння Ріккати, розв'язок якого в таких умовах може втратити симетричність.

Далі наведено приклад коду в середовищі MatLab для розрахунку оптимального лінійно-квадратичного регулятора:

```
clear all
disp('Матриця A:')
A = [-0.786 83.086; -8.429e-8 0.0009402] % Введення матриці A
disp('Матриця B:')
B = [10.37; 0] % Введення матриці B
% Параметри критерія якості:
disp('Матриця Q:')
Q = eye(2) % Формування одиничної матриці
disp('Матриця R:')
R = 1 % Введення матриці R
disp('Матриця N:')
N = [] % Введення матриці N
disp('Вектор початкових умов X0:')
x0 = [274 0.0335]' % Завдання вектора початкових умов
disp('Вектор заданих значень відхилень Xd:')
xd = [300 0.0335]' % Завдання вектора заданих значень відхилень
disp('Вектор заданих значень відхилень керування Ud:')
ud = 0.7 % Завдання відхилень значень керування
disp('Час спостереження tf:')
```

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

tf = 6 % Завдання часу спостереження
disp('Довжина кроку dt:')
dt = 0.01 % Завдання довжини кроку
disp('Кількість кроків n:')
n = tf/dt
[K P E] = lqr(A,B,Q,R,N); % Синтез регулятора
disp('Матриця зворотнього зв'язку K:'); K
disp('Розв'язок рівняння Ріккати P:'); P
disp('Власні значення замкненої системи E:'); E
% Визначення розмірності задачі
SA = size(A); SA = SA(1); SB = size(B); SB = SB(2);
% Формування векторів x u
x = zeros(SA,n); u = zeros(SB,n-1);
% Формування початкового стану
x(:,1) = x0;
% Знаходження оптимального керування u та змінних стану x
for i=1:n-1,
u(:,i) = ud-K*(x(:,i)-xd);
x(:,i+1) = (A*(x(:,i)-xd)+B*(u(:,i)-ud))*dt+x(:,i);
end
% Подова динаміки змінних стану
f1 = figure;
f2 = figure;
plot(0:dt:tf-dt,x(1,:)), grid % x(1,:)
title('Динаміка руху змінних стану');
xlabel('Час, t');
ylabel('Змінні стану, X(t)');
figure(f1)
% Побудова вектора керування
plot(dt:dt:tf-dt,u), grid
title('Динаміка зміни керування'); xlabel('Час,t'); ylabel('Керування, U(t)'); legend('u')
figure(f2)

```

Результат виконання програми

Матриця A:

```

A = -0.7860    83.0860
     -0.0000     0.0009

```

Матриця B:

```

B = 10.3700
      0

```

Матриця Q:

```

Q = 1    0
     0    1

```

Матриця R:

```

R = 1

```

Матриця N:

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

N = []
Вектор початкових умов X0:

x0 =274.0000
    0.0335
Вектор заданих значень відхилень Xd:

xd =300.0000
    0.0335
Вектор заданих значень відхилень керування Ud:

ud =0.7000
Час спостереження tf:

tf = 6
Довжина кроку dt:

dt =0.0100
Кількість кроків n:

n =600
Матриця зворотнього зв'язку K:

K = 1.0e+04 *

    0.0001    -2.2367
Розв'язок рівняння Ріккати P:

P = 1.0e+11 *

    0.0000    -0.0000
    -0.0000     2.6624
Власні значення замкненої системи E:

E =-0.0009
    -10.3399

```

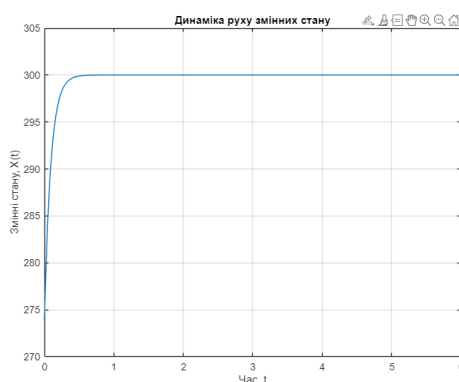


Рисунок. 4.2 – Динаміка руху змінних стану з лінійно-квадратичним регулятором

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

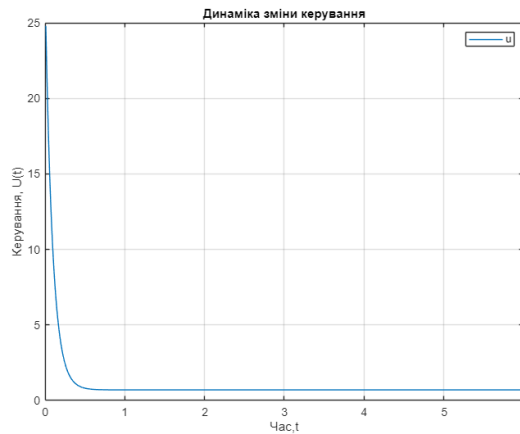


Рисунок. 4.3 – Динаміка руху змінних керування з лінійно-квадратичним регулятором

4.2. Розробка оптимального лінійно-квадратичного регулятора з інтегральною складовою

Розрахунок оптимального управління із зворотним зв'язком та інтегральною складовою виконано в середовищі MatLab.

Встановлено, що задачі синтезу закону управління для лінійних систем із квадратичним критерієм якості мають рішення у вигляді лінійних регуляторів. Такі регулятори забезпечують поступове зменшення впливу початкових умов або короткочасних імпульсних збурень на вихід системи. Однак вони виявляються неефективними при постійних або повільно змінних вхідних впливах, оскільки не можуть гарантувати відсутність відхилень регульованих параметрів від заданих значень.

Для досягнення цієї вимоги закон управління повинен включати дві складові: одну, що залежить від поточного стану системи, і другу, що враховує інтеграл від стану. Таким чином, постановку задачі синтезу необхідно змінити так, щоб у законі управління була передбачена інтегральна складова, яка зменшує похибки керування.

Нижче наведено код MatLab для реалізації оптимального лінійно-квадратичного регулятора з інтегральною складовою:

```
clear all
disp('Матриця A:')
A= [-0.786 83.085; -8.429e-8 0.0009402] % Введення матриці A
disp('Матриця B:')
```

```

B = [10.37;0] % Введення матриці B
% Параметри критерія якості:
disp('Матриця Q:')
Q = eye(2) % Формування одиничної матриці
disp('Матриця R:')
R = 1 % Введення матриці R
disp('Матриця N:')
N = [] % Введення матриці N
disp('Вектор початкових умов X0:')
x0 = [274 0.0335]' % Завдання вектора початкових умов
disp('Вектор заданих значень відхилень Xd:')
xd = [300 0.0335]' % Завдання вектора заданих значень відхилень
disp('Вектор заданих значень відхилень керування Ud:')
ud = 0.7 % Завдання відхилень значень керування
disp('Час спостереження tf:')
tf = 6 % Завдання часу спостереження
disp('Довжина кроку dt:')
dt = 0.01 % Завдання довжини кроку
disp('Кількість кроків n:')
n = tf/dt
disp('Матриця A1:')
A1 = [zeros(2) eye(2); zeros(2) A] % Формування матриці A1
disp('Матриця B1:')
B1 = [zeros(2,1); B] % Формування матриці B1
disp('Матриця Q1:')
Q1 = [Q zeros(2); zeros(2) zeros(2)] % Формування матриці Q1
[K P E] = lqr(A1,B1,Q1,R,N); % Синтез регулятора
disp('Матриця зворотнього зв'язку:'); K
disp('Розв'язок рівняння Ріккати:'); P
disp('Власні значення замкненої системи:'); E
% Визначення розмірності задачі
SA = size(A); SA = SA(1); SB = size(B); SB = SB(2); SK = size(K); SK = SK(2);
% Формування векторів x, u та v
x = zeros(SA,n); u = zeros(SB,n-1); v = zeros(SA,n);
% Формування початкового стану
x(:,1) = x0;
% Відокремлення пропорційної та інтегральної частин матриці K
for i=SK/2:SK,
K2(i) = K(i);
end
for i=1:SK/2,
K1(i) = K(i);
K2(1) = [];
end
% Знаходження оптимального керування u та змінних стану x
for i=1:n-1,
v(:,i) = v(:,i)+K1*x(:,i)*dt;
u(:,i) = ud-K2*(x(:,i)-xd)+v(i);
x(:,i+1) = (A*(x(:,i)-xd)+B*(u(:,i)-ud))*dt+x(:,i);
end
% Побудова динаміки змінних стану
f1 = figure ;
f2 = figure ;

```

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

plot(0:dt:tf-dt,x(1,:)), grid
title('Динаміка руху змінних стану');
xlabel('Час, t');
ylabel('Змінні стану, X(t)');
figure(f1)
% Побудова вектора керування
plot(dt:dt:tf-dt,u), grid
title('Динаміка зміни керування'); xlabel('Час,t'); ylabel('Керування, U(t)'); legend('u')
figure(f2)

```

Результат виконання програми

Матриця A:

```

A = 2x2
    -0.7860    83.0860
    -0.0000     0.0008

```

Матриця B:

```

B = 2x1
    10.3700
         0

```

Матриця Q:

```

Q = 2x2
     1     0
     0     1

```

Матриця R:

```

R = 1

```

Матриця N:

```

N =

```

```

[]

```

Вектор початкових умов X0:

```

x0 = 2x1
    374.0000
     0.0335

```

Вектор заданих значень відхилень Xd:

```

xd = 2x1
    300.0000
     0.0335

```

Вектор заданих значень відхилень керування Ud:

```

ud = 0.7000

```

Час спостереження tf:

```

tf = 6

```

Довжина кроку dt:

```

dt = 0.0100

```

Кількість кроків n:

```

n = 600

```

Матриця A1:

```

A1 = 4x4
     0         0     1.0000         0
     0         0         0     1.0000
     0         0    -0.7860    83.0860

```

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

0 0 -0.0000 0.0008

Матриця B1:

B1 = 4x1

0
0
10.3700
0

Матриця Q1:

Q1 = 4x4

1 0 0 0
0 1 0 0
0 0 0 0
0 0 0 0

Матриця зворотнього з'язку:

K = 1x4

10⁷ ×

-0.0000 -0.0000 0.0000 -2.1158

Розв'язок рівняння Ріккати:

P = 4x4

10¹⁸ ×

0.0000 -0.0000 -0.0000 0.0000
-0.0000 0.0000 -0.0000 -0.0048
-0.0000 -0.0000 0.0000 -0.0000
0.0000 -0.0048 -0.0000 6.0012

Власні значення замкненої системи:

E = 4x1 complex

-0.0000 + 0.0000i
-0.0008 + 0.0000i
-3.2499 + 3.1887i
-3.2499 - 3.1887i

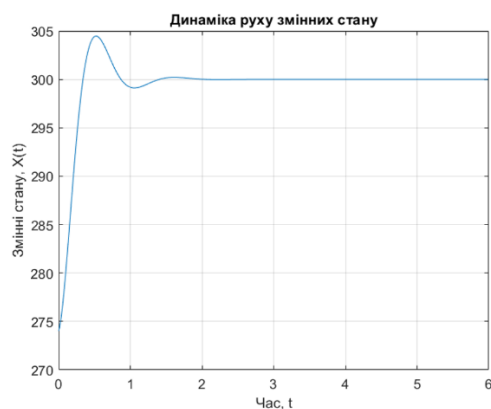


Рисунок. 4.4 – Динаміка руху змінних стану з лінійно-квадратичним регулятором з інтегральною складовою

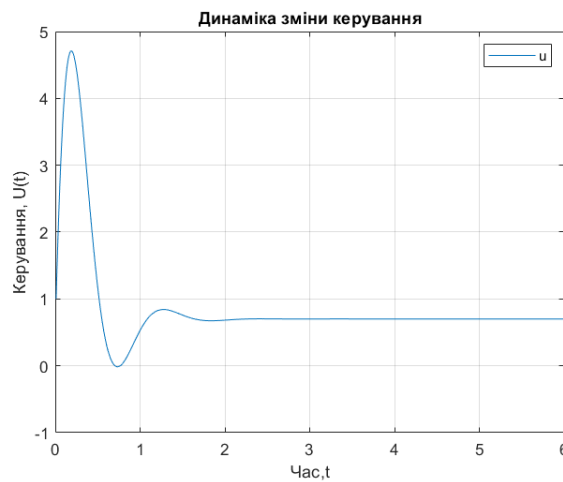


Рисунок. 4.5 – Динаміка руху змінних керування з лінійно-квадратичним регулятором з інтегральною складовою

4.3. Аналіз та порівняння результатів оптимального управління із зворотним зв'язком

Графіки зміни змінних стану для оптимального керування показано на рисунку 4.5.

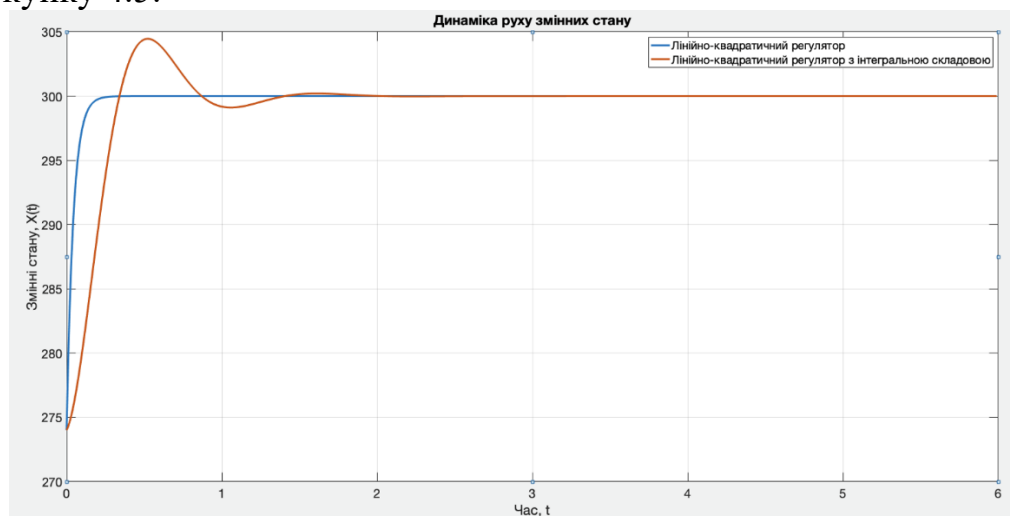


Рисунок .4.5 – Графіки зміни змінних стану

На рисунку 4.5 показано, що використання інтегрального критерію якості для визначення оптимального управління в системі із зворотним зв'язком призводить до погіршення характеристик управління. Зокрема, спостерігається збільшення перерегулювання, що є небажаним явищем. Таким чином, введення інтегральної складової є недоцільним, і доцільно залишити квадратичний критерій якості.

Графіки змін керуючих впливів наведено на рисунку 4.6. Як видно з цього рисунка, додавання інтегральної складової негативно впливає на якість управління через підвищення перерегулювання. Тому обирається квадратичний критерій якості.

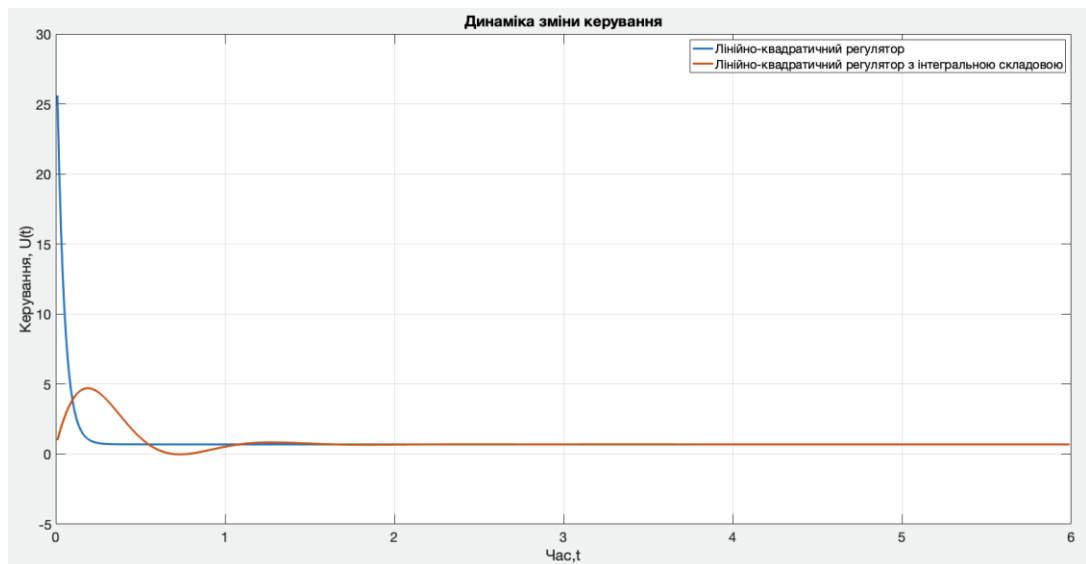


Рисунок.4.6 – Графіки зміни керувань

Тепер розв'яжемо алгебраїчні рівняння Ріккати за допомогою стандартної функції. Програма (М – файл) наведений нижче:

```
clear all
A = [-0.786 83.086; -8.429e-8 0.0009402] ; % Введення матриці A
B = [10.37 0]'; % Введення матриці B
Q = eye(2); % Введення матриці Q
N = 20;
R = 1;
t = 0.015;
[X] = func(A,B,Q,N,R,t);

function [X] = func(A,B,Q,N,R,t)
X(N) = {zeros(2)};
for i=N:-1:2
    X{i-1} = X{i} - t.*(-X{i}.*A - (A.').*X{i} + X{i}.*B.*(R^-1).*(B.').*X{i} - Q);
end
end
```

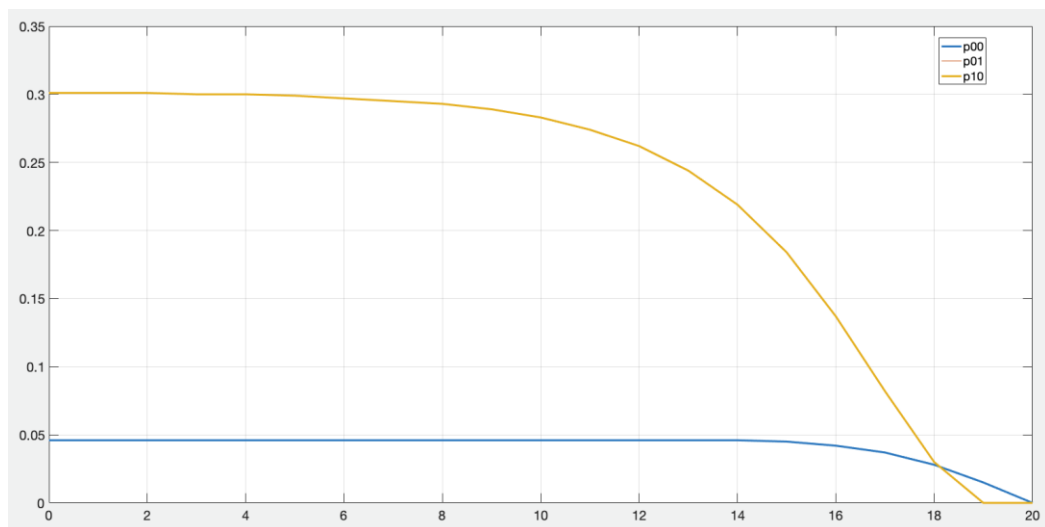


Рисунок.4.7 – Графіки зміни коефіцієнтів Ріккати

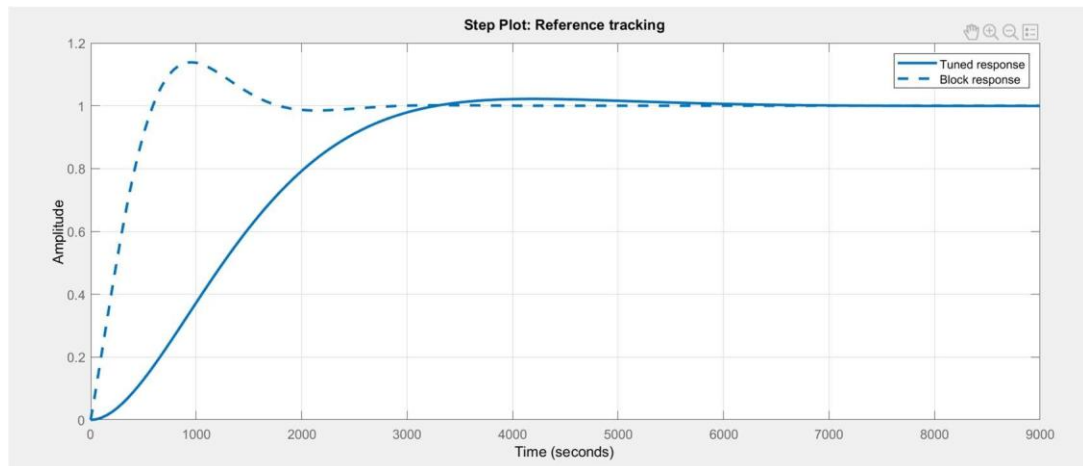


Рисунок.4.8 Графік якості перехідного процесу із збільшенням часу реакції

Очевидно, що зі збільшенням часу реакції значно покращується стабільність перехідного процесу, але при цьому знижується швидкість реакції системи.

Як видно з таблиці, зі збільшенням тривалості перехідного процесу спостерігається зменшення перерегулювання.

4.4 управління за мін час з урахуванням обмежень на керування

Щоб знайти керування, яке забезпечує мінімальний час, слід застосувати теорему про NN-інтервали перемикання і визначити моменти перемикання. Розрахунки виконаємо за допомогою середовища MatLab.

Формулюємо критерій оптимальності:

$$I = \frac{1}{2} S_{11} [T_{out}(t_f) - T_{out}^{зд}]^2 + \frac{1}{2} S_{22} [Q_{out}(t_f) - Q_{out}^{зд}]^2 + t_f \quad (1.15)$$

Накладемо обмеження на керування F_1 :

$$\begin{aligned} F_{1.min} &\leq F_p \leq F_{1.max} \\ F_{1.max} - F_1 &\geq 0 \\ F_p - F_{p.min} &\geq 0 \end{aligned}$$

Звідси перепишемо критерій:

$$\begin{aligned} I = & \frac{1}{2} S_{11} [T_{out}(t_f) - T_{out}^{зд}]^2 + \frac{1}{2} S_{22} [Q_{out}(t_f) - Q_{out}^{зд}]^2 + t_f + \\ & + \int [q(F_{p.max} - F_1)(F_1 - F_{p.min})H(g_1 g_2)] dt \end{aligned}$$

Відповідно функція Гамільтона матиме вигляд:

$$\begin{aligned} H = & q(F_{1.max} - F_1)(F_1 - F_{1.min})H(g_1 g_2) + \lambda_1(a_{11}T_{out} + a_{12}Q + b_{11}F_1) + \\ & + \lambda_2(a_{21}T_{out} + a_{22}Q) \end{aligned} \quad (1.16)$$

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Запишемо умови оптимальності:

$$\lambda'_1 = -\frac{\partial H}{\partial T_{out}} = -\lambda_1 a_{11} - \lambda_2 a_{21}$$

$$\lambda'_2 = -\frac{\partial H}{\partial Q} = -\lambda_1 a_{12} - \lambda_2 a_{22}$$

$$\frac{\partial H}{\partial F_1} = -2qF_1H(g_1g_2) + qF_{1.\max}F_1H(g_1g_2) + qF_{1.\min}F_1H(g_1g_2) + \lambda_1 b_{12}$$

$$\lambda_1(t_f) = S_{11}(T_{out}(t_f) - T_{out}^{3Д})$$

$$\lambda_2(t_f) = 0$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial I}{\partial t_f} &= 1 + S_{11}(T_{out}(t_f) - T_{out}^{3Д})T'_{out}(t_f) + q(F_{1.\max} - F_1)(F_1 - F_{1.\min})H(g_1g_2) \\ &= 0 \end{aligned}$$

Після обрахунків знайдемо час переключення τ_s та побудуємо графік лінії переключення. Загальний вигляд графіку наведено на рисунок. 4.9.

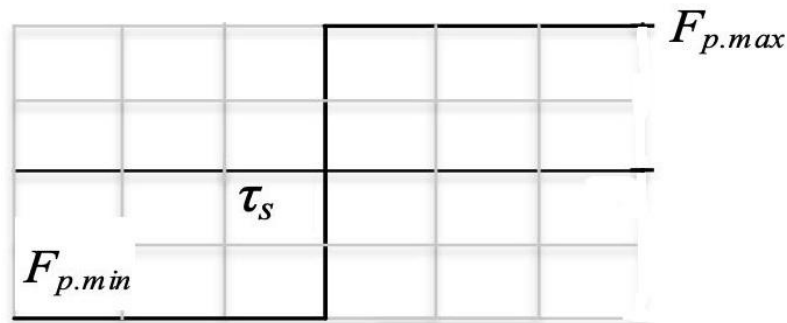


Рисунок. 4.9 – Загальний графік лінії переключення

Де час переключення розраховується за формулою:

$$\tau_s = -\frac{\lambda_2(t_f)}{\lambda_1(t_f)} = -\frac{S_{22}(Q_{out}(t_f) - Q_{out}^{3Д})}{S_{11}(T_{out}(t_f) - T_{out}^{3Д})}. \quad (1.17)$$

Лінія переключення керування матиме вигляд:

$$\zeta(\tau) = \int_0^r e^{-A(\tau-p)} b \operatorname{sign}[\lambda^T(t_f) e^{Apb}] dt$$

Коли вираз $[\lambda^T(t_f) e^{Apb}] = 0$ - це точка переключення.

Зробимо розрахунок для знаходження часу переключення та лінії переключення та побудуємо відповідний графік (рисунок. 4.10).

$$S_{11} = 0.0001$$

$$Q = 1$$

$$N = 60$$

Нижче наведений код *MatLab* для розрахунку керування за мінімальним часом при обмеженні на керування:


```

function [X1,X2,U,ts] = fff()
X1 = zeros(1,1200);
X2 = zeros(1,1200);

X1(1) = 374;

X2(1) = 0.0335;
eps = 0.01;
a00 = -0.7860;
a01 = 83.086;
a10 = -8.429e-8;
a11 = 0.0009402;
Xzad = [300;0.034];
B0 = 10.3700;
B1 = 0;
TAU = 0.01;
Q = 1;
S11 = 0.0001;
N = 60;
U = findU();
U(1) = 0.96;
Uzad = 1.2;
ts = 0;
for s = 1:N-1
    X1(s+1) = (a00*(X1(s) - Xzad(1)) + a01*(X2(s) - Xzad(2)) + B0*(U(s) - Uzad))*TAU+X1(s);
    dI(s) = 1+ S11*((X1(s+1) - X1(s))/TAU)*(X1(s) - Xzad(1)) + 0+ Q*((U(1)^2) -
    U(s)^2)*heaviside((U(1)^2) - U(s)^2);
    if abs(dI(s)) <= eps
        U(s+1) = -U(s);
        ts = s;
    elseif abs(dI(s)) > eps
        U(s+1) = U(s);
        ts = s;
    end
end
end

```

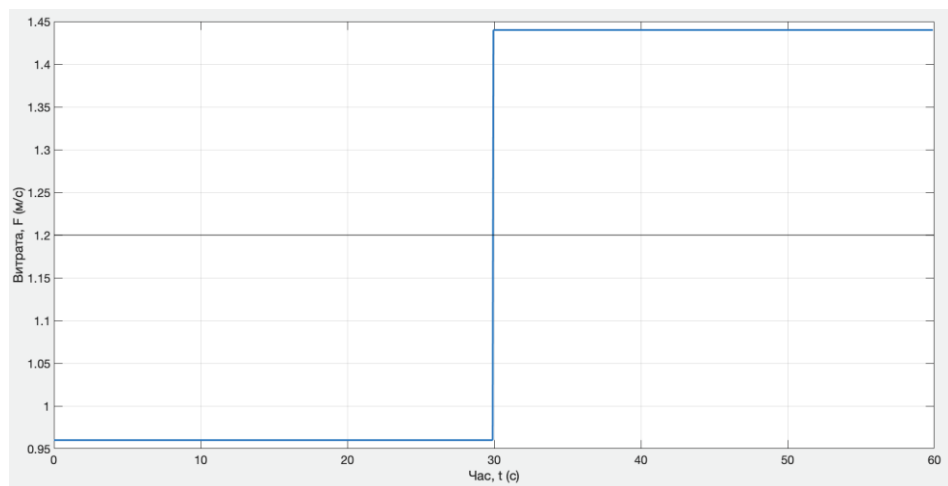


Рисунок.4.10 – Графік лінії переключення

В результаті виконання програми було отримано, що час переключення повинен становити 30.

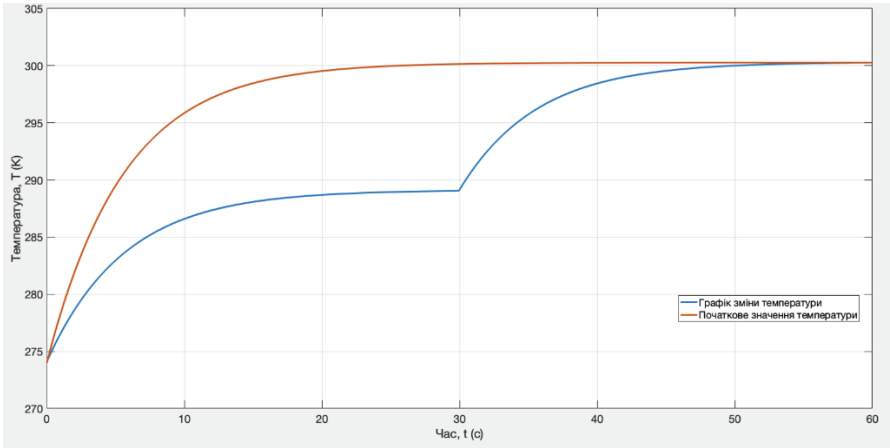


Рисунок. 4.11 – Графік зміни змінних стану до переключення та після переключення

Через 30 секунд система досягла заданого рівня, тому коригування переключень не є необхідним. У момент переключення значення змінних стану були наступними: $T_{out} = 296K$

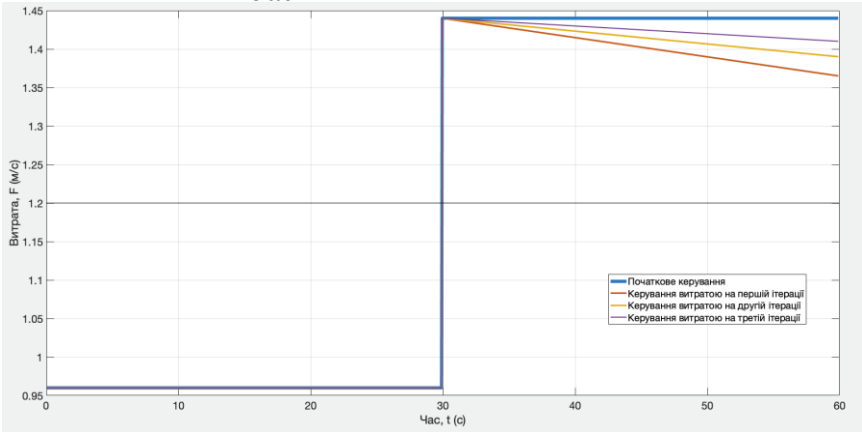


Рисунок. 4.12 – Графік зміни керування витратою

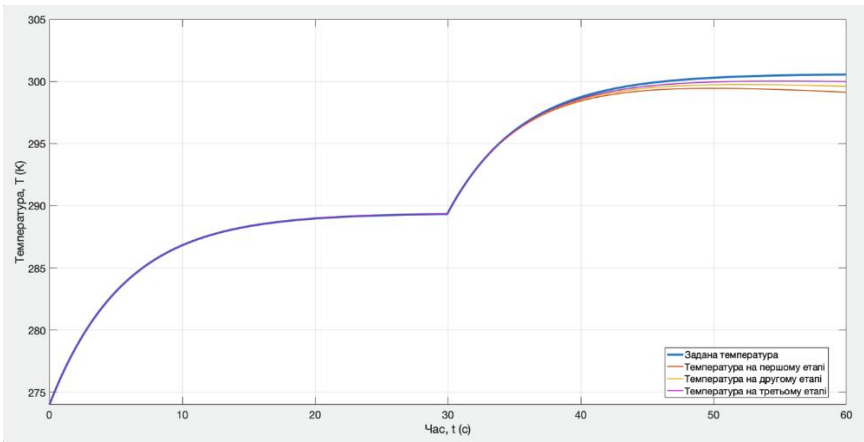


Рисунок. 4.13 – Графік зміни температури при етапах керування

РОЗДІЛ 5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

5.1 Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології)

Вступ до розділу

Цей розділ магістерської дисертації присуноквячено реалізації першого етапу розроблення стартап-проекту, а саме маркетинговому аналізу.

Метою розділу є оцінювання ринкових перспектив та можливостей комерціалізації науково-технічних рішень, що лежать в основі магістерської роботи, через розробку концепції стартап-проекту.

Проект, що розглядається, має назву "**OzonoGuard Smart**" та полягає у створенні "розумних" компактних систем озонування води для сектору HoReCa (готелі, ресторани, кафе) та малих харчових виробництв.

Проведення маркетингового аналізу передбачає виконання нижченаведених кроків.

Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології).

На першому етапі необхідно проаналізувати зміст ідеї, напрямки її застосування та вигоди для корисуютьвачів. Цей аналіз подано у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 Опис ідеї стартап-проекту "OzonoGuard Smart"

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для корисуютьвача
Розробка та впровадження "розумних" (IoT) компактних систем озонування води. Система складається з трьох модулів: 1. Генератор озону (з кисню повітря).	1. HoReCa (Ресторани/Кафе): • Миття овочів, фруктів, зелені. • Дезінфекція робочих поверхонь, інвентарю. • Обробка льодогенераторів. • Дезінфекція посуду (фінальне ополіскування).	• Економія коштів: Зменшення списання зіпсованих продуктів (овочів, зелені) на 30-50% за рахунок подовження терміну їх зберігання. • Безпека: Гарантована дезінфекція (озон вбиває 99.9% бактерій, вірусів, грибків, в т.ч. E.coli, Listeria). • Відповідність НАССР: Автоматичне ведення журналів дезінфекції, що є критичним для проходження перевірок.
2. Інжектор (насичення води).	• Чистота продукту: Відсутність хімічних залишків (хлору, НУХ) на продуктах та тарі, що псують смак та аромат крафтових виробів. • Екологічність: Повна відмова від агресивної хімії; озон швидко розпадається до кисню.	2. Малі харчові виробництва (крафтові пекарні, сироварні, пивоварні): • Безхімічна дезінфекція тари (пляшок, банок). • Обробка обладнання (ферментерів, ємностей).
3. IoT-модуль (контролер + датчики ORP/концентрації) для моніторингу в реальному часі та ведення журналів.	• Здоров'я пацієнтів: Запобігання утворенню біоплівки у трубках обладнання. • Контроль: Постійний моніторинг якості води в системі.	3. Стоматології та малі медичні центри: • Очищення та дезінфекція води у стоматологічних установках. • Стерилізація інструментів (попередня).

Наступним кроком є аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно з існуючими пропозиціями конкурентів та замінників. Для цього визначено попереднє коло конкурентів:

- Конкурент 1 (Прямий):** "AquaPro O3" (збірний образ китайських та вітчизняних компактних озонаторів).
- Конкурент 2 (Замінник):** "ChlorActive Forte" (традиційні хімічні дезінфектанти – хлорні таблетки, розчини НУХ).
- Конкурент 3 (Промисловий):** "EvoZone Industrial" (великі стаціонарні промислові системи озонування).

Проведено порівняльний аналіз показників за табл. 2.

Таблиця 5.2 Визначення сильних (S), слабких (W) та нейтральних (N) характерисунктик ідеї проекту "OzonoGuard Smart"

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Мій проект("OzonoGuard Smart")	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W(слабкасторона)	N(нейтральнасторона)	S(сильнасторона)
		Мій проект("OzonoGuard Smart")	Конкурент 1"AquaPro O3"	Конкурент 2"ChlorActive" (Хімія)	Конкурент 3"EvoZone Ind."			
1.	Економічні: Початкова вартість (ціна)	15 000грн	8 000грн	500 грн (річний запас)	150 000грн		+	
2.	Економічні: Вартість експлуатації	Низька (електроенергія)	Низька	Середня (постійні закупівлі)	Висока (сервіс)			+
3.	Призначення: Ефективність дезінфекції	Дуже висока (99.9%)	Висока (99%)	Висока (при дотриманні)	Дуже висока			+
4.	Призначення: Вплив на смак/запах продукту	Нейтральний	Нейтральний	Негативний (залишки хлору)	Нейтральний		+	
5.	Призначення: Компактність, простота монтажу	Висока	Висока	(Не релевантно)	Низька (громіздка)			+

Продовження таблиці 5.1

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Мій проект ("OzonoGuard Smart")	(потенційні) товари/концепції конкурентів	W(слабкасторона)	N(нейтральносторона)	S(сильнасторона)	№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї
6.	Технологічні: Автоматизація процесу	Повна (IoT)	Відсутня (ручне вкл/викл)	Відсутня (ручне дозування)	Повна			+
7.	Технологічні: Моніторинг та звітність (НАССР)	Наявна (ключова)	Відсутня	Відсутня	Наявна			+
8.	Ергономічні: Необхідність навчання персоналу	Мінімальне	Мінімальне	Висока (ризик помилки дозування)	Висока (оператор)			+
9.	Екологічність: Безпека для персоналу та екології	Висока	Висока	Низька (пари хлору, утилізація)	Висока			+
10.	Додаткова вигода: Подовження терміну зберігання продуктів	Наявне (до 2-3 разів)	Наявне	Відсутнє	Наявне			+

Визначений перелік характеристик (табл. 5.2) є підґрунтям для формування конкурентоспроможності проекту. Ключовими перевагами є **екологічність, відсутність впливу на смак** (на відміну від хімії) та **наявність IoT-модуля для звітності НАССР** (на відміну від прямих конкурентів). Слабкою стороною є вища початкова вартість порівняно з хімією та простими озонаторами.

5.2. Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводиться аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту. Аналіз передбачає визначення технологічної здійсненності ідеї за такими складовими (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 Технологічна здійсненність ідеї проекту "OzonoGuard Smart"

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	"OzonoGuard Smart" та полягає у створенні "розумних" компактних систем озонування води для сектору HoReCa (готелі, ресторани, кафе) та малих харчових виробництв.	Технологія 1Генерація озону методом коронного розряду.	Наявні (технологія зріла, широко використовується).	Доступні (можна придбати готові модулі або розробити власні).
2.		Технологія 2Інжекція озону у воду (дифузори, трубка Вентурі).	Наявні.	Доступні.
3.		Технологія 3Контроль процесу (мікроконтролер + датчики ORP (ОВП) та розчиненого озону).	Наявні (датчики є на ринку, потребують калібрування).	Доступні, але є відносно дорогими компонентами.
4.		Технологія 4IoT-платформа та мобільний додаток (хмарне сховище, API, frontend).	Наявні (AWS, Azure, Google Cloud). Проте, саме ПЗ потрібно розробити "з нуля".	Доступні (використовування готових хмарних платформ для інфраструктури).
		Обрана технологія реалізації ідеї проекту:	Інтеграція наявних технологій генерації та інжекції озону (1, 2) з власною розробкою програмно-апаратного комплексу (3, 4) для контролю, моніторингу та IoT-звітності.	

За результатами аналізу табл. 3 робиться висновок, що **можливість технологічної реалізації проекту є високою (так)**. Новизна проекту полягає не в самій технології генерації озону (вона відома), а в її **інтелектуальній цифровій "обгортці"** (Технології 3 та 4) та адаптації під конкретний сегмент ринку (HoReCa), що вимагає компактності, надійності та звітності.

5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Цей етап дозволяє спланувати напрями розвитку проекту з урахуванням стану ринкового середовища, потреб клієнтів та пропозицій конкурентів.

Аналіз попиту

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Спочатку проводиться аналіз наявності попиту, обсягу та динаміки розвитку ринку HoReCa та крафтових виробництв (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	Ринок обладнання для HoReCa: висока конкуренція (десятки постачальників). Ринок озонаторів: 5-7 помітних гравців + "сірий" імпорт.
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	Ринок професійного обладнання для HoReCa в Україні (докризовий) оцінювався у ~1.5-2 млрд грн на рік. Цільовий сегмент (системи дезінфекції) – до 5% ринку.
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає. Незважаючи на кризи, ринок HoReCa демонструє стійкість та інтерес до інновацій. Ринок крафтових виробництв активно зростає.
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	1. Технологічні: Потреба у компетенціях (електроніка, хімія води, розробка ПЗ). 2. Довіра: Ринок консервативний, потребує доказової бази (сертифікати, відгуки).
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	1. Обов'язкове: Впровадження стандартів НАССР (Наказ Мінагрополітики № 590). Це можливість для нашого проекту. 2. Бажане: Сертифікати СЕС, Декларації відповідності (на сам прилад).
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	~20-35% (для постачальників обладнання).

Середня норма рентабельності (20-35%) є значно вищою за банківський відсоток на вкладення. За результатами аналізу табл. 4, ринок є **привабливим для входження** за попереднім оцінюванням, особливо з огляду на фактор посилення вимог НАССР.

Визначення потенційних груп клієнтів

Надалі визначаються потенційні групи клієнтів та формується перелік їхніх вимог до товару (табл. 5.5).

Таблиця 5.5 Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1.	Базова потреба: Забезпечення санітарної безпеки на кухні/виробництві та зменшення збитків.	Група 1: Ресторани преміум-сегменту та мережеві кафе (HoReCa).	• Орієнтовані на якість та імідж. • Критично важлива відповідність НАССР. • Готові платити більше за інновації та сервіс. • Рішення приймає власник або шеф-кухар.	До продукції: • Надійність (безвідмовність). • Компактність та дизайн. • Наявність IoT-звітності. До компанії: • Якісний сервіс 24/7. • Навчання персоналу.
2.		Група 2: Малі крафтові виробництва (сироварні, пекарні, пивоварні).	• Орієнтовані на якість кінцевого продукту (чистий смак). • Менш чутливі до НАССР, але чутливі до хімічних залишків. • Ціна має значення, але якість важливіша. • Рішення приймає власник-технолог.	До продукції: • Відсутність впливу на продукт. • Простота використання. • Довговічність. До компанії: • Зрозумілі інструкції. • Технічна підтримка.
3.		Група 3: Заклади "швидкого харчування" (економ-сегмент).	• Чутливі до ціни. • Головний фактор – низька вартість. • Використовують найдешевші методи (хімія). • <i>Ця група не є нашою цільовою аудиторією.</i>	

Стратегічний фокус має бути на преміум-сегменті (Група 1), який забезпечить фінансову стійкість та швидке впровадження інновації. Згодом можна

адаптувати продукт для крафтового сегменту (Група 2), пропонуючи збалансоване рішення за ціною та якістю.

Аналіз ринкового середовища

Проводиться аналіз факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. 5.6- 5.7).

Таблиця 5.6 Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Несприятливий інвестиційний клімат	Нестабільність економіки, в зв'язку з військовим станом в країні	Відкладення інвестицій у нове обладнання
2	Нестабільність курсів валют	Зниження купівельної спроможності HoReCa	Зменшення обсягів пропозицій на ринку
3	Нестабільна суспільно-політична ситуація	Відсутність можливості залучати іноземних інвесторів	Зниження можливості більш чіткого обґрунтування економічної вигоди та політичної стабільності
4	Зміни в попиті на продукцію	Консерватизм ринку. Звичка викориснуковувати "хлорку", бо вона дешева. Клієнти не бачать потреби платити більше	Створення більш якісних маркетингових послуг, які будуть будувати довгострокові відносини зі споживачами
5	Діяльність конкурентів	Поява дешевих китайських аналогів (без IoT). Прямі конкуренти будуть демпінгувати.	Пошук постачальників обладнання (матеріалів, запчастин) за рахунок яких можна здешевити собівартість
6	Нестабільність цін на енергоносії	Не стабільний стан енергетичної системи, заміна її призводить до здорожчання собівартості виробництва	Не стабільна робота водопостачання та її озонування
7	Недостатній рівень технологічного розвитку	Висока вартість імпортних компонентів (датчики ORP). Зростання собівартості	Заміна вітчизняними компонентами або удосконалення технологічного процесу
8	Дефіцит кваліфікованих кадрів	Постійний процес мобілізації кваліфікованих працівників	Постійний пошук на ринку праці та підбір персоналу додатково
9	Недостатня захищеність виробничих площ	Знищення виробничих площ в результаті ракетного терору. Травмування працівників	Дотримання правил під час повітряної тривоги

Таблиця 5.7 Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Стандартизація виробництва	Посилення контролю за дотриманням стандартів НАССР.	Ринок потребує автоматизованих рішень для ведення журналів та контролю.
2	Політична стабільність	Дотримання законодавчих актів як виробників так і контролюючих органів	Залучення іноземних інвестицій
3	Побутове викориснування	Еко-тренд. Тренд на "зелені" технології, відмову від хімії.	Ресторани викориснувають це як маркетингову перевагу ("миємо овочі чистою водою").
4	Здорове харчування	Підвищення обізнаності про безпеку харчових продуктів.	Споживачі стають більш вибагливими.
5	Технологічний розвиток	Зростання ринку крафтових виробництв.	Виробники шукають технології для забезпечення "чистого смаку" без хімії.
6	Викориснування нових технологій (оборотні активи)	Мінімізувати (дробити) виробничі площі, але збільшувати їх кількість	Щоб зберегти кількість виробництв під час обстрілів
7	Людський капітал	Залучення молодих спеціалістів віком 20-23 роки	Отримання та навчання кваліфікованих спеціалістів на тривалий термін (до віку мобілізації)

Аналіз пропозиції (загальні рисунки конкуренції)

Визначаються загальні рисунки конкуренції на ринку обладнання для дезінфекції (табл. 5.8).

Таблиця 5.8 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції	Монополістична конкуренція. На ринку діє багато продавців (постачальники хімії, озонаторів, УФ-ламп), які пропонують диференційований товар, але жоден з них не має повного контролю над ринковою ціною.	Необхідна сильна диференціація (наш IoT-модуль) та активна маркетингова політика.
2. Рівень конкурентної боротьби	Національний. Потенційні клієнти (мережеві ресторани, крафтові виробництва) та основні конкуренти розташовані по всій території країни, а логістика дозволяє доставку обладнання в будь-який регіон.	Необхідно будувати дилерську мережу по всій країні.
3. Галузева ознака	Міжгалузева. Основна боротьба йде не стільки між брендами озонаторів, скільки між різними технологіями вирішення проблеми дезінфекції: хімічними засобами (інша галузь) та апаратними методами (озон).	Дії: Доводити клієнту переваги самої технології озонування над хімією.
4. Конкуренція за видами товарів	Товарно-родова, Споживач обирає спосіб задоволення потреби у безпеці: купити витратні матеріали (хімію) чи інвестувати в основні засоби (обладнання).	Дії: Акцент на економічній окупності інвестицій.
5. Характер конкурентних переваг	Нецінова. Ключовим фактором вибору для цільового сегменту є не найнижча ціна, а якість дезінфекції, безпека для персоналу та відповідність стандартам (НАССР).	Дії: Розвивати сервіс, гарантію, ПЗ.
6. Інтенсивністю	Марочна. На ринку хімії існують сильні бренди, проте в ніші "розумних озонаторів" лідер ще не визначений, що дає можливість зайняти позицію бренду-лідера.	Дії: Є можливість швидко зайняти нішу та стати "брендом №1" у "розумних" озонаторах.

Виходячи з даних в таблиці можемо зробити висновок про різноманітність та багату варіативність факторів, дій та конкурентних середовищ

Аналіз умов конкуренції в галузі (Модель 5 сил М. Портера)

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проводиться детальний аналіз умов конкуренції за моделлю М. Портера (табл. 5.9).

Таблиця 5.9 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Перелік/Фактори	• "AquaPro O3" (дешеві озонатори). • Локальні виробники. • "Сірий" імпорт.	• Бар'єри входу: технологічні (ПЗ, електроніка) – середні. • Загроза: Висока. Будь-яка IoT-компанія може вийти на цей ринок (напр., виробники систем "розумний дім").	• Фактори сили: Висока концентрація постачальників датчиків (ORP, O3). • Вони диктують ціни на ключові компоненти.	• Фактори сили: Середні. • NoReCa (ресторани) – вимагають знижок, сервісу. • Вони можуть диктувати умови сервісу, але не ціни.	• Фактори загроз: ДУЖЕ ВИСОКА. • Традиційна хімія (хлор) – надзвичайно дешева. • УФ-лампи.
Висновки:	• Інтенсивність: Середня. • Ринок ще не структурований, сильних брендів немає.	• Можливості входу є. • Потенційні конкуренти можуть з'явитися протягом 1-2 років.	• Постачальники диктують ціни на датчики. (Потрібно шукати диверсифікацію).	• Клієнти диктують вимоги до сервісу. (Потрібно інвестувати в підтримку 24/7).	• Це головна загроза. Робота на ринку можлива лише через диференціацію та доведення, що озон кращий за хімію (смак, здоров'я, економія продуктів).

За результатами аналізу табл. 5.9, **робота на ринку є можливою**, але вкрай ризикованою, якщо конкурувати за ціною. Головна загроза – товари-замінники (хімія). Тому проект має бути конкурентоспроможним за рахунок **нецінових факторів**:

1. Унікальний функціонал (IoT, звітність НАССР).
2. Економічна вигода (подовження терміну зберігання продуктів).
3. Екологічність та безпека (на відміну від хімії).

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На основі аналізу (табл. 5.2, 5.5, 5.9) визначається перелік факторів конкурентоспроможності (табл. 5.10).

Таблиця 5.10 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (чинники, що роблять фактор значущим)
1.	Наявність функції звітності (НАССР)	Заклади харчування зобов'язані вести журнали дезінфекції згідно із законодавством. Автоматизація цього процесу є критичним фактором вибору, оскільки знімає ризик штрафів через "людський фактор".
2.	Економічна ефективність експлуатації	Для бізнесу важлива не лише ціна покупки, а й вартість володіння. Клієнти обирають рішення, які зменшують щомісячні операційні витрати (наприклад, на закупівлю хімії чи списання зіпсованих продуктів).
3.	Надійність обладнання	Кухня ресторану працює в інтенсивному режимі. Будь-яка поломка дезінфектора зупиняє процес миття продуктів, що призводить до простою кухні, тому відмовостійкість є базовою вимогою.
4.	Швидкість сервісної підтримки	У разі несправності клієнт не може чекати тиждень на ремонт. Наявність гарячої заміни або швидкого ремонту є вирішальним критерієм при виборі між дешевим імпортом (без сервісу) та локальним виробником.
5.	Відсутність впливу на органолептику продукту	Для крафтових виробників та ресторанів смак є головною цінністю. Клієнти відмовляються від дезінфектантів, що залишають присунокмак або запах (хлор), на користь нейтральних технологій.
6.	Початкова ціна (Вартість придбання)	Важливий фактор для малого бізнесу з обмеженим бюджетом на старт, який часто стає бар'єром для впровадження нових технологій порівняно з дешевими традиційними методами.

За визначеними факторами (табл. 5.10) проводиться аналіз сильних та слабких сторін (табл. 5.11). (Рейтинг від -3 (дуже погано) до +3 (відмінно), 0 - нейтрально).

Таким чином було визначено що компанії конкурентів будуть мати таке позначення для легшого заповнення таблички та порівняння;

("AquaPro O3" (А), "ChlorActive" (Хімія) (Б), "EvoZone Ind." (В))

Таблиця 5.11 Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін "OzonoGuard Smart"

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з Мій проект("OzonoGuard")						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Наявність функції звітності (НАССР)	-6	Б,А			В			
2.	Економічна ефективність експлуатації	-5	В	Б		А			
3.	Надійність обладнання	0			Б	А	В		
4.	Швидкість сервісної підтримки	-3		Б	А	В			
5.	Відсутність впливу на органолептику продукту	-1			Б	А,В			
6.	Початкова ціна (Вартість придбання)	0	В				А	Б	

Висновок з табл. 5.11: Проект "OzonoGuard Smart" має найвищий інтегральний бал (+7) за рахунок **унікальних сильних сторін** (IoT, відсутність впливу на смак), які перекривають слабку сторону (вища початкова ціна).

SWOT-аналіз

Фінальним етапом є складання SWOT-аналізу (табл. 5.12) на основі виділених загроз, можливостей (табл. 5.6, 5.7) та сильних/слабких сторін (табл. 5.11).

Таблиця 5.12 SWOT-аналіз стартап-проекту "OzonoGuard Smart"

	Сильні сторони (S) (на основі Табл. 5.11)	Слабкі сторони (W) (на основі Табл. 5.11)
	S1. Наявність функції звітності НАССР (Фактор 1).Обґрунтування: Конкуренти А та Б отримали оцінку -6. Це ваша ключова перевага.S2. Відсутність впливу на органолептику (Фактор 5).Обґрунтування: Конкурент Б (Хімія) отримав -1. Ви виграєте у найпоширенішого замінника.S3. Швидкість сервісу (Фактор 4).Обґрунтування: Ви кращі за А (-3) та Б (-1).	W1. Початкова ціна / Вартість придбання (Фактор 6).Обґрунтування: Конкуренти А (+1) та Б (+2) отримали позитивні бали. Ваш продукт дорожчий на старті.W2. Відносна надійність (Фактор 3).Обґрунтування: Конкуренти Б та В отримали +1. Прості хімікати та промислові гіганти сприймаються надійнішими за стартап-продукт.
Можливості (О) (Зовнішні фактори)	Поле SO (Стратегія розвитку):	Поле WO (Стратегія подолання):
O1. Посилення державного контролю за нормами НАССР.O2. Зростання цін на продукти (потреба в економії).O3. Тренд на натуральні продукти (без хімії).	S1 + O1: Викорисунктовувати унікальну функцію звітності (де конкуренти мають -6 балів) як головний аргумент для проходження державних перевірок.S2 + O3: Витіснити конкурента Б (хімію), демонструючи збереження натурального смаку продуктів.	W1 + O2: Нівелювати високу стартову ціну (W1), показуючи клієнту розрахунок економії на продуктах у довгостроковій перспективі (адже за експлуатаційними витратами конкурент Б програє вам).

	Сильні сторони (S) (на основі Табл. 5.11)	Слабкі сторони (W) (на основі Табл. 5.11)
Загрози (Т) (Зовнішні фактори)	Поле ST (Стратегія захисту):	Поле WT (Стратегія виживання):
T1. Клієнти звикли до дешевої "хлорки" (Конкурент Б). T2. Демпінг з боку дешевих аналогів (Конкурент А).	S2 + T1: Проводити "сліпі тести" смаку води/продуктів після обробки озоном та хлором, щоб наочно показати різницю (бо тут Б програє). S3 + T2: Захищатися від дешевих аналогів (А) якісним сервісом, якого у них немає (оцінка -3).	W1 + T1: Впровадити модель продажу "у розстрочку" або "оренда", щоб знизити бар'єр входу (W1) для клієнтів, які звикли платити мало (T1).

Висновок за результатами SWOT-аналізу (Табл. 5.12)

Проведений SWOT-аналіз підтверджує доцільність реалізації стартап-проекту "OzonoGuard Smart" з акцентом на диференціацію.

Ключовим фактором конкурентоспроможності є **унікальність функціоналу (S1)** – наявність автоматизованої звітності НАССР. Ця сильна сторона дозволяє викориснуноктовувати головну зовнішню **Можливість (O1)** – посилення вимог НАССР, що робить продукт незамінним інструментом для цільової аудиторії.

Головна **Слабка сторона (W1)** – вища початкова ціна – потребує компенсації через **Стратегію WO**: доведення швидкої окупності та економічної вигоди (економія на продуктах), а також впровадження програм лізингу.

Загалом, проект повинен дотримуватися **Стратегії ST**: захищатися від цінового демпінгу конкурентів (T2) за рахунок надійного сервісу та унікального програмного забезпечення.

Розроблення альтернатив ринкової поведінки

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки (табл. 5.13).

Таблиця 5.13 Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів (Інвестиції, технології)	Строки реалізації (Вихід на ринок)
1.	Альтернатива 1 (Концентрація): Фокус виключно на преміум-сегменті HoReCa з акцентом на НАССР (Стратегія SO). Прямі продажі, висока маржа.	Висока. Інвесторам зрозуміла ніша та висока маржинальність.	6-9 місяців (розробка ПЗ, сертифікація).
2.	Альтернатива 2 (Масовий ринок): Спрощення продукту (видалення IoT), щоб конкурувати за ціною з "AquaPro O3".	Низька. Втрачається УТП, інвестори не побачать переваг над Китаєм.	4-6 місяців (швидше, але ризиковано).
3.	Альтернатива 3 (Диверсифікація): Одночасний вихід на ринки HoReCa, крафтових виробників та стоматологій.	Середня. Потребує значно більших ресурсів на маркетинг та розробку 3-х версій продукту.	12-18 місяців (розфокусування).

Обрана альтернатива: Альтернатива 1 (Концентрація). Вона є найбільш збалансованою, має високу ймовірність залучення ресурсів та чіткі, стислі строки реалізації, спираючись на найсильніші сторони проекту (S1) та ринкові можливості (O1).

5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення стратегії охоплення ринку

Першим кроком є вибір цільових груп на основі обраної Альтернативи 1 (табл. 5.14).

Таблиця 5.14 Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачі в сприйнятті продукт (на основі Табл. 5)	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті (замінники)	Простота входу у сегмент
1.	Група 1: Ресторани преміум-сегменту та мережеві кафе (HoReCa).	Висока (потреба в НАССР та іміджі).	Середній (платоспроможний).	Середня (використанню дорогої хімії або імпорتنі рішення).	Середня (потрібна репутація).
2.	Група 2: Малі крафтові виробництва.	Середня (потреба в "чистому смаку").	Зростаючий.	Висока (хімія).	Середня.
3.	Група 3: Заклади "швидкого харчування" (економ).	Низька (чутливі до ціни).	Високий (але неплатоспроможний).	Дуже висока (хімія).	Складно (цінова війна).

Які цільові групи обрано: Група 1 (Ресторани преміум та мережеві кафе).

За результатами аналізу, компанія обирає стратегію концентрованого маркетингу, зосереджуючись на одному, але найбільш релевантному та платоспроможному сегменті.

Визначення базової стратегії розвитку

Для роботи в обраному сегменті формується базова стратегія розвитку (табл. 5.15).

Таблиця 5.15 Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту (з Табл. 13)	Стратегія охоплення ринку (з п. 4.1)	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи (з Табл. 10)	Базова стратегія розвитку* (Дод. Б)
1.	Альтернатива 1 (Концентрація на HoReCa з НАССР)	Концентрований маркетинг	• IoT-модуль та звітність НАССР. • Високий рівень сервісу.	Стратегія диференціації та Стратегія спеціалізації (фокусування)

Обґрунтування: Проект не може конкурувати за витратами (ціною). Тому обирається стратегія **диференціації**, що передбачає надання товару унікальних властивостей (IoT-модуль), які є важливими для споживача (НАССР). Ця диференціація застосовується в межах вузького цільового сегменту (HoReCa), що є стратегією **спеціалізації** (фокусування).

Вибір стратегії конкурентної поведінки

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 5.16).

Таблиця 5.16 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки* (Дод. В)
1.	Так. Він є "першопрохідцем" у ніші "розумних озонаторів для НАССР".	Забирати існуючих у конкурентів (замінників – хімії) та шукати нових (тих, хто раніше не мав рішення для НАССР).	Ні. Компанія не копіює, а створює нову цінність (IoT).	Стратегія заняття конкурентної ніші (Нішер/Фахівець)

Обґрунтування: Компанія не атакує лідерів (виробників хімії) "в лоб" (стратегія виклику лідера) і не йде за ними (наслідування). Вона обирає вузький сегмент (нішу), який задовольняє умовам : є прибутковим (преміум-HoReCa) , має бар'єри (технологія ПЗ) та є непривабливим для масових конкурентів (занадто вузький для гігантів).

Розроблення стратегії позиціонування

На основі обраних стратегій розробляється стратегія позиціонування (табл. 5.17) , що полягає у формуванні чіткого образу проекту в свідомості споживачів.

Таблиця 5.17 Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії (з Табл. 5)	Базова стратегія розвитку (з Табл. 15)	Ключові конкурентоспроможні позиції (з Табл. 10)	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
-------	---	--	--	--

1.	- Відповідність НАССР. - Надійність, сервіс. - Імідж ("зелені" технології).	Диференціація + Спеціалізація	- IoT-модуль та звітність НАССР. - Високий рівень сервісу.	1. Контроль (Автоматизація НАССР) 2. Безпека (Екологічність, без хімії) 3. Ефективність (Економія на продуктах)
----	---	-------------------------------	---	---

Результатом є узгоджена система рішень: **Концентрований маркетинг** на **Преміум-NoReCa**, з базовою стратегією **Диференціації** (через IoT) та **Спеціалізації** (Нішер), що формує позиціонування **"Розумний контроль безпеки кухні"**.

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Формування маркетингової концепції товару

Першим кроком є підсумування ключових переваг товару (табл. 5.18).

Таблиця 5.18 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба (з Табл. 5)	Вигода, яку пропонує товар (з Табл. 1)	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити) (з Табл. 2, 11)
1.	Потреба у проходженні перевірок (НАССР).	Автоматичне ведення журналів дезінфекції у додатку.	Наявність IoT-модуля (проти "AquaPro O3" та "ChlorActive").
2.	Потреба у зменшенні збитків (псування продуктів).	Подовження терміну зберігання зелені/овочів у 2-3 рази.	Економічний ефект (проти "ChlorActive", який не має такого ефекту).
3.	Потреба в іміджі ("зелена" кухня, чистий смак).	Відсутність хімічних залишків на продуктах та посуді.	Екологічність та відсутність впливу на смак (проти "ChlorActive").

Розроблення трирівневої маркетингової моделі товару

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару (табл. 5.19).

Таблиця 5.19 Опис трьох рівнів моделі товару "OzonoGuard Smart"

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Опис базової потреби: Гарантоване та контрольоване забезпечення санітарної безпеки кухні, що відповідає стандартам НАССР, зі зменшенням операційних витрат.
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики: - Генератор озону (продуктивність 1 г/год). - Вбудований контролер з Wi-Fi. - Датчик ORP (ОВП) для контролю концентрації у воді. - Компактний корпус з нержавіючої сталі (AISI 304).

	Якість: Сертифікат відповідності, Висновок СЕС. Пакування: Брендowana картонна коробка з ложементами, інструкція. Марка: Назва "OzonoGuard Smart". Логотип.
III. Товар із підкріпленням	До продажу: - Безкоштовний аудит санітарного стану кухні. - Прорахунок терміну окупності. Під час продажу (монтаж): - Монтаж "під ключ" за 2 години. - Навчання персоналу (шеф-кухаря, су-шефа). Після продажу: Гарантія 24 місяці (включаючи датчик). - Хмарний сервіс (SaaS) для звітів НАССР (включено у вартість 1-й рік). - Сервісна підтримка 24/7 (заміна приладу за 24 години у разі поломки).
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання:	1. Програмне забезпечення: Унікальні алгоритми роботи контролера та хмарної платформи (Ноу-хау). 2. Патентування: Подання заявки на корисну модель "Система IoT-моніторингу дезінфекції води". 3. Сервіс: Захист через рівень підкріплення товару (гарантія, підтримка), який складно скопіювати.

Визначення цінових меж

Наступним кроком є визначення цінових меж (табл. 5.20). Аналіз проводиться експертним методом на основі даних табл. 2.

Таблиця 5.20 Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники ("ChlorActive")	Рівень цін на товари-аналоги ("AquaPro O3")	Рівень доходів цільової групи споживачів (HoReCa, преміум)	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1.	Низький (~5 000 – 7 000 грн на рік) <i>Це психологічна "нижня" межа, нижче якої ціна не може бути через складність технології.</i>	Середній (8 000 – 12 000 грн за прилад) <i>Ціна має бути вищою, щоб підкреслити технологічні переваги.</i>	Високий. Готові платити за рішення, що вирішує проблему (НАССР) та економить кошти (продукти). <i>Орієнтовна економія на продуктах – 3 000 - 5 000 грн/міс.</i>	Нижня межа (собівартість + мін. прибуток): 10 000 грн Верхня межа (цінність для клієнта): ~25 000 грн (окупність 5-8 місяців) Планована роздрібна ціна: 14 990 грн (включаючи монтаж та 1 рік ПЗ).

Формування системи збуту

Приймається рішення щодо оптимальної системи збуту (табл. 5.21).

Таблиця 5.21 Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів (HoReCa)	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1.	- Потребують експертної консультації. - Хочуть бачити "вживу", отримати "тест-драйв". - Купують комплексні рішення (обладнання + сервіс).	- Аудит та консалтинг (НАССР). - Продаж. - Монтаж та налаштування. - Навчання. - Сервісне обслуговування.	Канал нульового рівня (прямий збут).	На етапі запуску (1-2 роки): - Власна система збуту (прямі продажі). Це необхідно для збору зворотного зв'язку, контролю якості сервісу та доведення цінності продукту. На етапі зрілості (3+ роки): - Залучена система збуту (дилери). Залучення компаній-інтеграторів, що обладнують ресторани "під ключ".

Розроблення концепції маркетингових комунікацій

Останньою складовою є розроблення концепції маркетингових комунікацій (табл. 5.22).

Таблиця 5.22 Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів (HoReCa)	Канали комунікацій, якими корисуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування (з Табл. 17)	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення (Гасло)
1.	- Власники та шеф-кухарі. - Довіряють лідерам думок (іншим шефам). - Відвідують профільні виставки, читають B2B-видання.	Офлайн: Виставки (HoReCa), семінари по НАССР. Онлайн: Facebook / LinkedIn (таргетинг на "Власник ресторану", "Шеф-кухар"). PR: Статті у проф. виданнях, робота з лідерами думок (шеф-кухарями).	1. Контроль (НАССР) 2. Безпека (Без хімії) 3. Ефективність (Економія)	- Пояснити загрозу (штрафи НАССР, зіпсовані продукти). - Дати рішення (OzonoGuard). - Довести ефективність (розрахунок окупності).	"OzonoGuard Smart: Безпечна кухня та автоматичний контроль НАССР у вашому смартфоні"

Результатом пункту 5 є розроблена маркетингова програма, що включає концепції товару (з акцентом на IoT та сервіс), ціни (преміальна, базована на цінності), збуту (прямий) та просування (B2B, експертний).

5.6 Висновки до розділу

У висновках узагальнюється проведений маркетинговий аналіз стартап-проекту "OzonoGuard Smart":

- **Наявність можливості ринкової комерціалізації проекту:** Так, можливість наявна. Ринок HoReCa має чіткий (і закріплений законодавчо через НАССР) попит на рішення з контролю безпеки, який наразі не задоволений існуючими аналогами (дешевими озонаторами без контролю) та замінниками (хімією без звітності). Динаміка ринку позитивна.
- **Перспективи впровадження:** Перспективи є високими за умови вибору правильної стратегії. Незважаючи на високу загрозу з боку товарів-замінників (хімія), проект має унікальні конкурентні переваги (IoT-звітність, подовження терміну зберігання продуктів), які є критичними для обраної цільової групи (преміум-HoReCa).
- **Обрана альтернатива:** Для ринкової реалізації проекту доцільно обрати **Альтернативу 1 (Концентрація)**. Вона передбачає викориснування стратегії концентрованого маркетингу, базових стратегій диференціації та спеціалізації, і конкурентної стратегії "Нішера".
- **Загальний висновок:** Проект "OzonoGuard Smart" є ринково обґрунтованим та технологічно здійсненним. **Подальша імплементація проекту (розробка бізнес-моделі та фінансово-економічний аналіз) є доцільною.**

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Узагальнюючи опрацьовані матеріали, слід зробити такі висновки:

Процес озонування викориснуноктовують у обробці води для дезінфекції, видалення марганцю та заліза, покращення смаку, усунення кольору та запаху та видалення екологічно шкідливих органічних сполук.

Переваги цієї озонової обробки води, перш за все засновані на процесі окислення та знешкодження більшості неводних домішок. Результатом такої обробки є покращення смакових якостей та усунення неприємних запахів. Відсутні інші шкідливі побічні продукти, такі як при хлоруванні. З гігієнічної точки зору озон має значні переваги. Озон характеризується швидким розкладанням у воді (10-15 хвилин), утворюючи кисень не порушуючи структуру води.

Це означає, що озон абсолютно безпечний для навколишнього середовища.

Про те цей процес повинен бути максимально автоматизований так як озон є нестабільною речовиною і його неможливо транспортувати на великі відстані, тому цей реагент отримують на місці за допомогою «тихого» розряду генератора озону і негайно викориснуноктовується для очищення води.

Вплив озону на організм може призвести до передчасної смерті. Найбільш небезпечні наслідки високої концентрації озону в повітрі при прямому подразненні органів дихання, в результаті у крові людини холестерин утворює нерозчинну форму, що призводить до атеросклерозу.

Тому цей процес практично неможливо здійснити без автоматизації об'єкта.

Створено модель процесу озонування з якої в результаті було розроблено та розраховано оптимальне управління процесом з програмним відображення в MatLab для подальшого розрахунку керування за яким було визначено найоптимальніше керування для зменшення витрат озонової суміші, яка надходить у апарат, про те забезпечується стабільність температури на виході на заданому рівні, що не впливає на якість води, як результат збільшена ефективність та зменшення витрат.

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На основі всіх проведених досліджень було розроблено стартап-проект в якому було враховано такі нюанси як кон'юнктура ринку, політична нестабільність, військовий стан, нестабільність енергосистеми, кваліфікація кадрів на ринку працевлаштування та досліджено в застосуванні на рівні сфер обслуговування.

У висновках узагальнюється проведений маркетинговий аналіз стартап-проекту "OzonoGuard Smart":

- **Наявність можливості ринкової комерціалізації проекту:** Так, можливість наявна. Ринок HoReCa має чіткий (і закріплений законодавчо через НАССР) попит на рішення з контролю безпеки, який наразі не задоволений існуючими аналогами (дешевими озонаторами без контролю) та заміниками (хімією без звітності). Динаміка ринку позитивна.
- **Перспективи впровадження:** Перспективи є високими за умови вибору правильної стратегії. Незважаючи на високу загрозу з боку товарів-замінників (хімія), проект має унікальні конкурентні переваги (IoT-звітність, подовження терміну зберігання продуктів), які є критичними для обраної цільової групи (преміум-HoReCa).
- **Обрана альтернатива:** Для ринкової реалізації проекту доцільно обрати **Альтернативу 1 (Концентрація)**. Вона передбачає викориснування стратегії концентрованого маркетингу, базових стратегій диференціації та спеціалізації, і конкурентної стратегії "Нішера".
- **Загальний висновок:** Проект "OzonoGuard Smart" є ринково обґрунтованим та технологічно здійсненним. **Подальша імплементація проекту (розробка бізнес-моделі та фінансово-економічний аналіз) є доцільною.**

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСУНОКТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андронов И. В. Справочник по монтажу контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации/ И. В. Андронов, Ю. К. Осипенко, П.И.Яновский. - Москва: Стройиздат, 2002. – 387 с.
2. Баканов М.И. Теория экономического анализа. / М.И. Баканов, А.Д. Шеремет — М. : Финансы и статистика, 2000. — 416 с.
3. Бердникова Т.Б. Анализ и диагностика финансово-хозяйственной деятельности предприятия: учебное пособие/ Т.Б. Бердникова — М. : ИНФРА, 2001. — 215 с.
4. Білявський Г.О. Основи загальної екології/ Г.О. Білявський, Р.С.Фурдуй, І.Ю. Костіков. - Київ: Либідь, 2006. – 408 с.
5. Богиня Д.П., Основи економіки праці./ Д.П. Богиня, О.А.Грішнова – К. : Знання-Прес, 2002. – 313 с.
6. Болюх М.А. Економічний аналіз: навчальний посібник/ М.А.Болюх, В.З. Бурчевський, М.І. Горбатов — К.: КНЕУ, 2001. — 540 с.
7. Бутинець Ф. Ф. Економічний аналіз: навчальний посібник/ Ф.Ф.Бутинець — Ж. : ПП «Рута», 2003. – 680 с.
8. Васюкова Г.Т. Екологія/ Г. Т.Васюкова, О. І. Грошева. – Київ: Кондор, 2009. - 524 с.
9. Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього середовища: навчальний посібник/ В.С. Джигирей. – Київ: Знання, 2006. - 319 с.
10. Драгінський В.Л. Озонування в процесах очищення води/ В.Л.Драгінський. – Москва : Делі принт, 2007. - 400 с.
11. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці/ В. Ц. Жидецький, В. С. Джигирей, О. В. Мельников. - Львів: Афіша, 2000. — 348 с.
12. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води/ А.К.Запольський. - Київ: Вища школа, 2005. - 671 с.
13. Ізмайлова К.В. Фінансовий аналіз: навчальний посібник/ К.В.Ізмайлова — К.: МАУП, 2000. — 152 с.

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14. Каминский М.Л. Монтаж приборов и систем автоматизации / М.Л. Каминский, В.М. Каминский – Москва: Высшая школа, 2005. - 304 с.
15. Коробов М.Я. Фінансово–економічний аналіз діяльності підприємств/ М.Я. Коробов – К.: Знання, 2000. – 812 с.
16. Кузин М. Д. Монтаж, наладка и эксплуатация автоматических устройств/ М. Д. Кузин. – Москва: Металлургия, 2003. - 548 с.
17. Левківський С.С. Раціональне викориснування і охорона водних ресурсів/ С.С. Левківський, М.М. Падун. – Київ: Либідь, 2006. – 280 с.
18. Мацієвська О. О. Водопостачання і водовідведення/ О. О. Мацієвська. – Львів: Львівська політехніка, 2015. - 144 с.
19. **Орлов В.О. Водопостачання та водовідведення/ В.О. Орлов, Я.А. Тугай, А.М.Орлова.** - Київ: Знання, 2011. - 359 с.
20. Шаман О. М. Дипломне та курсове проектування. Методичні вказівки до інженерних розрахунків/ О. М. Шаман. - Київ: АМУ, 2005. – 192 с.
21. Шаман О. М. Технологія і автоматизація водопостачання та водовідведення: методичні вказівки/ О. М. Шаман. – Київ: АМУ, 2006. – 161с.
22. Бабіченко А. К. Промислові засоби автоматизації [Текст]: навч. посіб.: У 2 ч. / А. К. Бабіченко, В. І. То-шинський, В. С. Михайлов та ін. ; за заг. ред. А. К. Бабіченка. – Харків: НТУ «ХП», 2003. – Ч. 1. Вимірювальні присуноктрої. – 470 с. : іл. – Бібліогр.: с. 467. – 500 пр. – ISBN 966-593-232-2.
23. Бабіченко А. К. Промислові засоби автоматизації [Текст]: навч. посіб.: У 2 ч. / А. К. Бабіченко, В. І. То-шинський, В. С. Михайлов та ін. ; За заг. ред. А. К. Бабіченка. – Харків: НТУ «ХП», 2003 р. – Ч. 2. Регулювальні і виконавчі присуноктрої. – 658 с. : іл. – Бібліогр.: с. 644–645. – 500 пр. – ISBN 966-593-292
24. Ладієва Л. Р. Оптимізація технологічних процесів [Текст]: Навч. посіб. / Л. Р. Ладієва. – Київ: Політехніка, 2004. – 192 с. – Бібліогр.: с. 188. – ISBN 966-622-151-9.

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

25. Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ютер. інтегр. технології / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 236 с. : іл. – Бібліогр.: с. 230–231. – 200 пр. – ISBN 978-966-622-287-2.
26. Автоматизація типових технологічних процесів і установок: навч. посіб. [для студент. вищ. навч. закл.] / А. М. Коритін, Н. К. Петров, С. Н. Радімов. – К. : ІЗМН, 1988. – 432 с.
27. Строганов Р. П. Комп'ютерне управління технічними системами. [для студ. вищ. навч. закл.] / Р. П. Строганов, Л. В. Бабко, В. С. Корольов. – К. : ІЗМН, 1999. – 110 с
28. Дворецький С. В. Основи проектування хімічних виробництв / С. В. Дворецький, Р. С. Кормильцин. – М. : издво «Машинобудування-1», 200
29. Розроблення стартап-проекту : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. Київ : НТУУ «КПІ», 2016. 28 с.

Інтернет – ресурси

30. Барботажна установка [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <http://www.ngpedia.ru/id550331p2.html>
31. Застосування сучасних систем оплати праці на підприємствах України [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <http://global-national.in.ua/archive/5-2015/156.pdf>
32. Знезараження води озоном [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <http://bibliograph.com.ua/spravochnik-144-2/107.htm>
34. Інструкція з організації безпечного ведення вогневих робіт на вибухопожежонебезпечних та вибухонебезпечних об'єктах [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0541-01>
35. Кошторисунок [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу:

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

<https://uk.wikipedia.org/wiki/Кошторисунок>

36. Кошторисунок: поняття, види, структура, порядок складання та затвердження [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу:

<https://studfiles.net/preview/5374898/page:6/>

37. Магнітні пускачі [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:

<https://studopedia.org/4-100828.html>

38. Монтаж електромагнітного (соленоидного) клапана [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:

http://ic.danfoss.ru/products/klapany/montazh_elm_kl.html

39. Монтаж кнопочної станції [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://elt.vgpl1.by/index.php/spetsialnaya-tekhnologiya/ikart/26-ik4>

40. Напрямки удосконалення систем оплати праці персоналу підприємства [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу:

[http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-](http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/16081/1/vestnik_HPI_2015_25_Poberezhna_Napriamky.pdf)

[Press/16081/1/vestnik_HPI_2015_25_Poberezhna_Napriamky.pdf](http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/16081/1/vestnik_HPI_2015_25_Poberezhna_Napriamky.pdf)

41. Організація і підготовка монтажних робіт [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://studfiles.net/preview/5207891/>

42. Планування фонду оплати праці персоналу [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу:

http://stud.com.ua/23774/menedzhment/planuvannya_fondu_oplati_pratsi_personal

43. Пускатель ПБР-2М [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://ukrenergy.com.ua/pbr-2m.html>

44. Савков Д.С. Формування фонду оплати праці на промисловому підприємстві [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2527>

45. Стационарный газоанализатор Циклон-АВЗ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://kip-expert.by/p2089051-gazoanalizator-ozona-tsiklon.html>

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

- 46.Маркетинг стартап-проектів : навчальний посібник для усіх спеціальностей другого освітнього ступеню «магістр» / С. О. Солнцев, О. В. Зозульов, Н. В. Юдіна, Т. О. Царьова, Н. В. Язвінська ; за заг. ред. С.О. Солнцева ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 218 с. URL : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27437>
- 47.Semeniuk, S., Levytskyi, V., Fomina, O., Fedorchenko, K., Yudina, N., Ratynskiy, V., Shcherbatiuk, O., Bendiuh, V., & Zhurakivska, Y. (2024). Overcoming barriers to digitalization of small and medium-sized enterprises under martial law. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3(13 (129), 57–69. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.304997>
<https://journals.urau.ua/eejet/article/view/304997> .
- 48.Yudina N. V. Methods of the Startup-Project Developing Based on ‘the Four-Dimensional Thinking’ in Information Society // Marketing and Management of innovations. 3’2017, P. 245-256. DOI:10.21272/mmi.2017.3-23 <http://mmi.fem.sumdu.edu.ua/journals/2017/3/245-256>.
- 49.Yudina, N. Economic “Butterfly” and Futurology of the War in Ukraine. Economic Bulletin Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". Kyiv: Management And Marketing Faculty Of National Technical University Of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2022. №23 (2022). PP. 77-82. DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.23.2022.264637>.
- 50.Yudina, N. Algorythm Of Marketing Decision Making. Economic Bulletin Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". Kyiv: Management And Marketing Faculty Of National Technical University Of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2022. №22 (2022). PP. 1-9. DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.22.2022.260163>.
- 51.Yudina, N. Future Study Implementation Into Marketing Activity Of Companies. Economic Bulletin Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". Kyiv: Management And Marketing Faculty Of National Technical University Of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2021. №19 (2021). PP. 1-9 URL : <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/240315>.

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

52.Yudina, N., Pidlisna, O. Marketing Perception Of Technological Uncertainty By Decision-Makers. Economic Bulletin Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". Kyiv: Management And Marketing Faculty Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 2021. №18 (2021). PP. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.18.2021.238105>.

53.Yudina, N., Instrumenty Zarządzania Przyszłością. Marketing Instytucji Naukowych I Badawczych, Vol. 38, Issue 4,, 2020, Sieci Badawczej Łukasiewicz – Instytutu Lotnictwa. Poland, Warszawa, p. 1-19 ISSN 2353-8503 eISSN 2353-8414. http://minib.pl/wp-content/uploads/2020/12/4-Yudina_pl.pdf. DOI: 10.2478/minib-2020-0027.

54.Yudina, N. Business Forecasting of Marketing Activity Riskiness of Companies in Markets. Economic Bulletin of National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute". №17(2020). P. 372-383. URL : <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/216380/>

					ДП.ЛК-42мп.4216.000.01.ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		